

Índice de maduración en quesos pasta blanda elaborados con leches tratadas con cloruro de calcio, para diferentes razas bovinas, durante el verano

García, Diana Carolina^{1*}; González, Aura Marina²; Izaguirre, Cesar³; Carrasco, Lisbeth¹; Gómez, Rubén³; Vielma, Rosa Alba⁴; Borregales, Carmen⁵

¹Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

²Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

³Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de Alimentos Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

⁴Ciencia de los Alimentos Facultad de Farmacia Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

⁵PAU Lácteos Santa Rosa A.C Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

*2305dcm@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se determinó el índice de maduración de quesos pasta blanda fabricados en la empresa productora de alimentos universitarios "Lácteos Santa Rosa A.C.", ULA Mérida Venezuela, elaborados con leches de razas bovinas (Jersey, Mestiza y Mezcla de leches) durante el verano, tratadas a distintas concentraciones de cloruro de calcio. La extensión de la proteólisis se estudió a 0 días (sacados de la salmuera), y a los 15 días de maduración. Para la determinación del nitrógeno total y nitrógenos solubles, fue usado el método de Ardö y Polychroniado a partir de una dispersión de citrato, se determinó el nitrógeno total, nitrógeno soluble a pH 4,6 (nitrógeno no caseínico), nitrógeno soluble en ácido tricloroacético 12% (nitrógeno no protéico) y nitrógeno soluble en ácido fosfotúngstico 5%, y obtener los índices de maduración respectivos. Para interpretar los resultados se usó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20, no se mostró variación para el índice de maduración de nitrógeno no caseínico, indicando la no formación de aminoácidos y péptidos no caseínicos de cadenas largas. Para los índices de maduración de nitrógeno no protéico y nitrógeno soluble en ácido fosfotúngstico, existe una diferencia significativa entre 0 y 15 días de maduración, indicando la formación de aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

El queso fresco o madurado, es un alimento obtenido por la coagulación de la leche y la posterior separación del suero, generando un producto universal con alto valor nutritivo y altas concentraciones de proteínas y grasas; además de sales minerales y vitaminas.

Existen diversos tipos de quesos según su elaboración, entre los más comunes está el queso madurado el cual requiere de mayor tiempo y un cuidado especial, es decir, luego de obtenerla cuajada deben ser almacenados por días o meses, a ciertas condiciones de temperatura y humedad para desarrollar sus características propias.

En la fabricación de la mayoría de las variedades de quesos seañaden a la leche previo a la coagulación cepas de una o más especies, así como también CaCl_2 .

El CaCl_2 se utiliza para reforzar el contenido en calcio de la leche pasteurizada, obteniendo una cuajada más firme, a su vez, permite acortar el tiempo de coagulación. Añadir CaCl_2 en exceso puede hacer que el coágulo sea tan duro que sea difícil de cortar, provocando sabores desagradables y, disminuyendo así la calidad del producto. (Scott 1991)

Muchas de las propiedades del producto final también vienen influenciadas por la materia prima, ya que los componentes de la leche, como las grasas y las proteínas, se van degradando durante el proceso de madurado.

Entre los procesos químicos más importantes que influyen en las propiedades del producto durante el proceso de madurado son la glicólisis (transformación de la lactosa en ácido láctico), lipólisis (transformación de los lípidos en ácidos grasos y glicerol) y proteólisis (degradación de la proteína para formar péptidos y aminoácidos).

Durante la proteólisis, la producción de péptidos y aminoácidos libres es debida a la acción de enzimas específicas, quienes determinan la textura y sabor del queso. Sin embargo, los quesos sometidos a un proceso de proteólisis acelerado, presentan atributos indeseables.

Una de las maneras de estudiar la evolución proteolítica es mediante la determinación del índice de maduración, ya que permite cuantificar los aminoácidos, y péptidos que se forman en el proceso de maduración a partir de las fracciones nitrogenadas.

El índice de maduración (IM) se define como la relación que existe entre el %Nitrógeno Soluble (NS) y %Nitrógeno Total (NT) expresado de la siguiente manera:

$$IM = \frac{\%NS}{\%NT} \quad \text{ec.1}$$

Y en porcentaje:

$$\% IM = \frac{\%NS}{\%NT} \times 100 \quad \text{ec.2}$$

Esta relación indica la extensión de la proteólisis para un determinado tiempo de estudio.

Según (Panizzolo, Araujo, Taroco, Rodríguez, Schöpf, 2011), el método de precipitación fraccionada permite caracterizar fácilmente grupos de productos nitrogenados a través del método Kjeldhal. Este método de precipitación comprende diferentes fracciones:

- Nitrógeno no caseínico (NNC): Corresponde a compuestos solubles a pH 4,6 como proteínas del suero, (peptonas proteosas, α -lactoalbumina, β -lactoglobulina), productos de bajo peso molecular procedentes de la hidrólisis de la caseína; donde la caseína intacta es insoluble.

- Nitrógeno no protéico (NNP): Contiene los compuestos solubles en ácido tricloroacético 12% como pequeños péptidos y aminoácidos de bajo peso molecular (tirosina, triptófano).

- Nitrógeno soluble en ácido fosfotúngstico (NPTA): es ampliamente utilizado para la determinación de aminoácidos libres.

El estudio de los nitrógenos solubles permitió evaluar los índices de maduración en quesos pasta blanda fabricados en la empresa "PAU Lácteos Santa Rosa" A.C., ULA, elaborados con leches de diferentes razas bovinas y tratadas a distintas concentraciones de CaCl_2 durante la estación de verano.

2 Metodología Experimental

Esta investigación estuvo orientada a un queso tipo pasta blanda de corta maduración llamado Bonsalut, proveniente de la Productora de Alimentos Universitarios (PAU) Lácteos Santa Rosa ULA, A.C, ubicada en Santa Rosa, Sector La Hechicera Mérida estado Mérida, Venezuela.

El queso fue obtenido por coagulación enzimática y acidificación láctica; para ello se estableció una relación entre las leches de diferentes razas bovinas como son Jersey, Mestiza y una mezcla de las leches de ambas, tratadas a diferentes concentraciones CaCl_2 .

Se estudiaron 24 muestras de queso de aproximadamente 250 gramos cada uno, de los cuales se extrajeron las fracciones nitrogenadas, luego de ser sacadas de la salmuera (0 días) y a los 15 días de maduración.

2.1 Proceso de elaboración del queso pasta blanda

La elaboración de los quesos pasta blanda se realizó bajo la metodología establecida por PAU Lácteos Santa Rosa ULA, A.C.

Todos los quesos fueron elaborados con leches provenientes del Programa de Agricultura de Altura (PROGAL), estandarizada (2,6% de grasa) y pasteurizada a una temperatura de 65 °C. Las leches fueron tratadas a concentraciones de 0, 10, 15, 20 g. de CaCl_2 /100 L de leche. Se adicionaron fermentos lácticos y enzimas para formar la cuajada, luego se moldeó y prensó. El tiempo en salmuera fue de 1.5 h a 22 °Baumé, y llevado a una cámara de maduración por 15 días

a una humedad relativa entre 80-85%, y una temperatura entre 14-18°C.

2.2 Procedimiento para determinar el índice de Maduración(IM).

Para la evaluación IM, se determinaron: el nitrógeno total(NT) y nitrógenos solubles en los quesos, utilizando el método de Kjeldalh, modificado por (Ardö y col., 1998) mediante una dispersión de citrato.

Todos los ensayos analíticos fueron realizados por duplicado.

2.3 Análisis Estadístico

Se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA), usando para ello el modelo lineal univariante y contrastes de Duncan y Tukey, con un nivel de confianza del 95%; usando del programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 20

3 Resultados y Discusiones

De las 24 muestras de quesos Bonsalut, 12 fueron analizadas a los 0 días (al ser sacadas de la Salmuera) y las otras 12 a los 15 días de maduración.

3.1 Análisis del %Nitrógeno Total (NT):

Los valores del %NT se encontraron comprendidos entre 2,43% y 4,17%, valores que concuerdan con lo establecido por (Sbodiy y col., 2010, Olarte 2010, Ares 2002, Arteaga 2004) en sus investigaciones.

En la figura 1, se observa que el %NT para los quesos en estudio se mantuvieron en el rango establecido al añadir las distintas concentraciones de CaCl₂. Sin embargo, se destaca un aumento en los valores del %NT a los 15 días de maduración para todas las razas, este aumento es debido a la pérdida de humedad; no se adjudica a la raza ni al tratamiento

En las tablas 1 y 2, se muestra el análisis estadístico al evaluar por comparaciones múltiples de tukey, el efecto de la adición del CaCl₂ y la raza sobre el %NT. Se observa que no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos para las distintas razas bovinas en estudio; así como para las diferentes adiciones de CaCl₂. Ya que los valores de significancia obtenidos, en ambas comparaciones se encuentran por encima del 5% (0.05), como puede apreciarse en la última columna de ambas tablas.

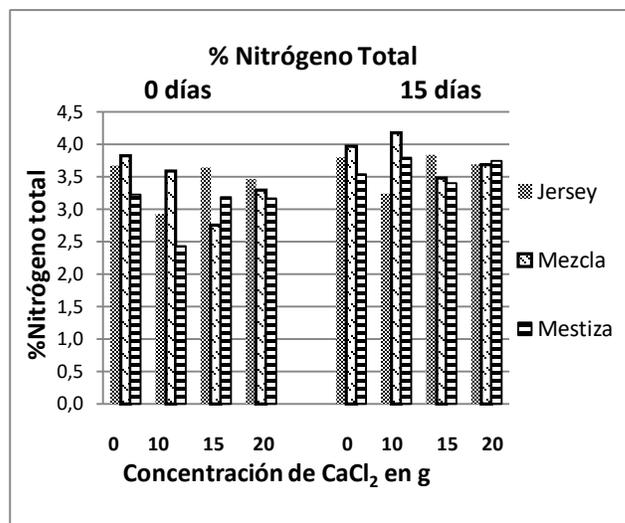


Figura 1. Porcentaje de NT obtenido para los quesos provenientes de diferentes razas bovinas y tratados a distintas concentraciones de CaCl₂

Tabla 1. Análisis Estadístico por comparaciones múltiples de tukey para el % NT en función de las razas.

Raza

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: % N Total

		(I)Raza	(J)Raza	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
DHS de Tukey	Jersey	Mestiza		,222381	,1380285	,251
		Mezcla		-,059631	,1380285	,902
	Mestiza	Jersey		-,222381	,1380285	,251
		Mezcla		-,282012	,1380285	,114
	Mezcla	Jersey		,059631	,1380285	,902
		Mestiza		,282012	,1380285	,114

3.2 Análisis del Índice de Maduración para Nitrógeno Soluble No Caseínico (NNC):

Es importante destacar que según (Arteaga 2004), los compuestos nitrogenados no caseínicos inician su degradación en la maduración primaria. Dado que el tiempo de maduración fue muy corto, se obtuvo en algunos casos la no variación de NNC como se muestra en la figura 2. Este proceso concuerda con los estudios realizados por (Panizzolo y col., 2011, Juárez y col., 2001, Arteaga 2004), donde no se encontró una variación notable en los compuestos nitrogenados al considerar un corto tiempo de maduración de 15 días.

Tabla 2. Análisis Estadísticos por comparaciones múltiples de tukey para el % NT en función del tratamiento de CaCl₂.

Tratamiento

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: % N Total

	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
DHS de Tukey	0	10	,311900	,1608096	,227
		15	,289458	,1608096	,287
		20	,163475	,1608096	,741
	10	0	-,311900	,1608096	,227
		15	-,022442	,1608096	,999
		20	-,148425	,1608096	,793
	15	0	-,289458	,1608096	,287
		10	,022442	,1608096	,999
		20	-,125983	,1608096	,862
	20	0	-,163475	,1608096	,741
		10	,148425	,1608096	,793
		15	,125983	,1608096	,862

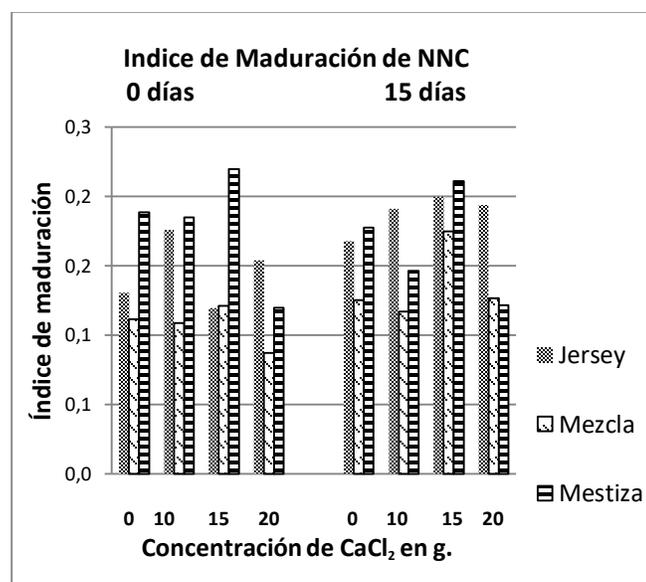


Figura 2. IM de NNC obtenido para los quesos provenientes de diferentes razas bovinas y tratados a distintas concentraciones de CaCl₂

Los valores del IM de este tipo de nitrógeno soluble oscilaron entre 0,0869 y 0,2198, similares a los reportados por (Ares 2002, Sánchez 2003, Fernández y col., 1977).

Sin embargo, al estudiar la influencia de las razas, se puede observar que los quesos elaborados con leches de la Mezcla presentaron menor índice de maduración. Este descenso es significativo como lo muestra el análisis estadístico en la tabla 3. Ya que al comparar la significancia obtenida entre los quesos elaborados con la Mezcla de leches, y los elaborados con los quesos elaborados con leches Jersey o Mestiza, la significancia es cero.

3.3 Análisis del Índice de Maduración para Nitrógeno Soluble No Protéico (NNP):

Los quesos elaborados con leches provenientes de las diferentes razas, mostraron una variación evidente en el IM de NNP durante el tiempo de estudio (0 días y 15 días), tratados a diferentes concentraciones de CaCl₂, observándose un aumento al comparar 0 y 15 días, como se muestra en la figura 3.

Esto indica que existe una formación de aminoácidos libres y péptidos no caseínicos de bajo peso molecular que son generados en el proceso de proteólisis, como lo demuestra (Sánchez 2003, Panizzolo y col., 2011) en sus estudios.

Tabla 3. Análisis estadístico por comparaciones múltiples de tukey para el IM de NNC por medio de Tukey, según la raza

Raza

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: % NS pH 4.6

	(I) Raza	(J) Raza	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
DHS de Tukey	Jersey	Mestiza	-,004675	,0031494	,316
		Mezcla	,045050*	,0031494	,000
	Mestiza	Jersey	,004675	,0031494	,316
		Mezcla	,049725*	,0031494	,000
	Mezcla	Jersey	-,045050*	,0031494	,000
		Mestiza	-,049725*	,0031494	,000

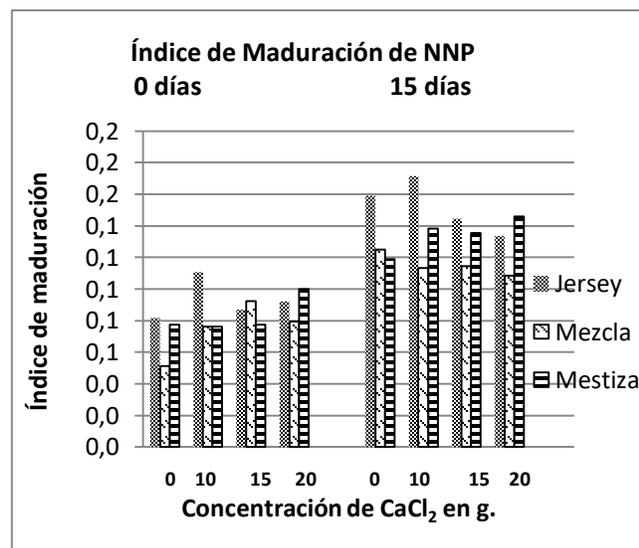


Figura 3. IM de NNP obtenido para los quesos provenientes de diferentes razas bovinas y tratados a distintas concentraciones de CaCl₂

Al estudiar el índice maduración de NNP en el tiempo de 0 días de maduración, se observa que los valores se mantienen relativamente constantes a los distintos tratamientos de

CaCl₂. El mismo comportamiento ocurre al realizar el estudio a los 15 días.

Aunque el comportamiento del IM de NNP presenta un comportamiento similar para cada uno de los quesos elaborados con distintas razas, cabe destacar que se observa una variación significativa a los 0 y 15 días de maduración entre los quesos elaborados con la Mezcla de leches y los elaborados con las leches Jersey, observándose un IM de NNP menor para los quesos elaborados con la Mezcla de leches. El análisis estadístico a través de comparaciones múltiples de Tukey, corrobora lo expresado anteriormente como se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis estadístico por comparaciones múltiples de Tukey para IM de NNP por medio de Tukey, según la raza.

Raza

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: % NS TCA

	(I)Raza	(J)Raza	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
DHS de Tukey	Jersey	Mestiza	,013750	,0067101	,122
		Mezcla	,027462*	,0067101	,001
	Mestiza	Jersey	-,013750	,0067101	,122
		Mezcla	,013712	,0067101	,123
	Mezcla	Jersey	-,027462*	,0067101	,001
		Mestiza	-,013712	,0067101	,123

Los valores obtenidos para el IM de NNP, oscilaron entre 0,0511 y 0,1715 para el tiempo de maduración establecido, estos valores concuerdan con los estudios realizados por (Ares 2002, Alcalá y col., 1982, Sánchez 2003, Fernández y col., 1977).

3.4 Análisis del Índice de Maduración para Nitrógeno Soluble en Ácido Fosfotúngstico (NPTA):

Los quesos elaborados Bonsalut, mostraron una variación en el IM de NPTA entre el tiempo de 0 días y 15 días, tratados a diferentes concentraciones de CaCl₂, como se muestra en la figura 4. Según (Sánchez 2003), este aumento indica que existe una formación de aminoácidos libres que son producidos en el proceso de proteólisis.

Sin embargo, los quesos no mostraron diferencia significativa en la raza y el tratamiento de CaCl₂ para los IM de NPTA como se observa en las tablas 5 y 6, el análisis estadístico mediante comparaciones múltiples de Tukey.

En estas tablas se observa que los valores de significancia para los quesos elaborados con las leches de las distintas razas bovinas son mayores del 5%, indicando que presentan valores similares entre ellos. Lo mismo ocurre al comparar los tratamientos de CaCl₂.

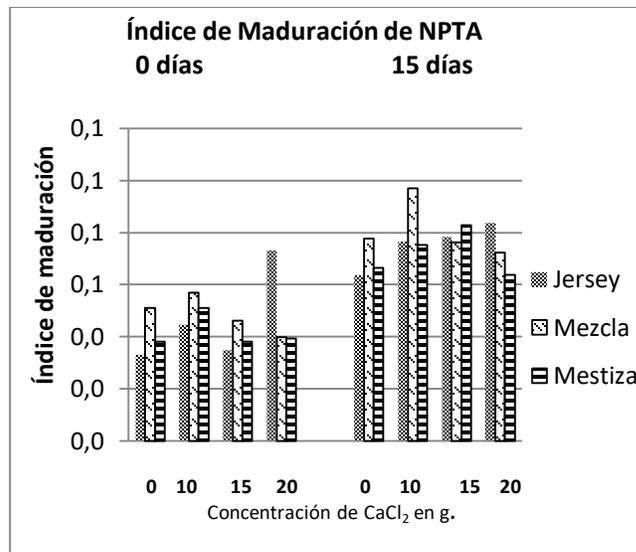


Figura 4. IM de NPTA obtenido para los quesos provenientes de diferentes razas bovinas y tratados a distintas concentraciones de CaCl₂

Tabla 5. Análisis estadístico determinado para IM de NPTA por medio de Tukey, según la raza

Raza

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: %NS PTA

	(I)Raza	(J)Raza	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
DHS de Tukey	Jersey	Mestiza	,004169	,0041451	,580
		Mezcla	-,003606	,0041451	,664
	Mestiza	Jersey	-,004169	,0041451	,580
		Mezcla	-,007775	,0041451	,167
	Mezcla	Jersey	,003606	,0041451	,664
		Mestiza	,007775	,0041451	,167

Tabla 6. Análisis estadístico determinado para el IM de NPTA por medio de Tukey, según la adición de CaCl₂.

Los valores del índice de maduración NPTA, oscilaron entre 0,0318 y 0,0970, los cuales fueron similares a los encontrados en estudios realizados por (Ares 2002).

Tratamiento**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: %NS PTA

	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
DHS de Tukey	0	10	-,011867	,0047863	,089
		15	-,004317	,0047863	,804
		20	-,007042	,0047863	,470
	10	0	,011867	,0047863	,089
		15	,007550	,0047863	,410
		20	,004825	,0047863	,746
15	0	,004317	,0047863	,804	
	10	-,007550	,0047863	,410	
	20	-,002725	,0047863	,940	
20	0	,007042	,0047863	,470	
	10	-,004825	,0047863	,746	
	15	,002725	,0047863	,940	

4 Conclusiones

Los índices de maduración en estudio no presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos de CaCl₂

El tiempo de maduración establecido para el estudio del IM del NNC en los quesos Bonsalut fue corto, lo que quedó en evidencia al no presentar variación significativa en el tiempo.

Los índices de maduración de NNP y NPTA, presentaron una variación significativa para todos los quesos Bonsalut, entre 0 y 15 días de maduración.

Agradecimientos

Al Consejo de desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de los Andes Mérida, Venezuela por su aporte en el proyecto I-1401-14-08-B.

ALácteos Santa Rosa por apoyo y al Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos en el proyecto programa CVI-ADG-I- 01-12-08

Referencias

Aguiar Y, Guerrero A, 2009, Producción de un concentrado proteico a partir de lactosuero, Maracaibo: Universidad Rafael Urdaneta.

Alcalá M, Beltrán F, Esteban M, Marcos A, 1982, Distribución del nitrógeno Soluble del queso Mahon, Archivos de Zootecnia, Vol 3, N°121, pp 257.

Amiot J, 1991. Ciencia y Tecnología de la Leche. Ed Acribia. España.

Ardö Polychroniadou, 1998, Laboratory manual for chemical analysis of cheeses, Luxembourg.

Ares J, 2002, Caracterización cualitativa de los quesos tradicionales elaborados en empresas ganaderas de Andalucía, Revista Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental, Vol 15, pp 161-210.

Arteaga M, 2004, Evolución de la maduración del queso Chanco elaborado con adición de suero en polvo, Valdivia-Chile.

Becerra J, González AM, Gómez R, Lucena H, Izaguirre C, Moret Y, 2015, Efecto de la adición de CaCl₂ en leches de razas bovinas en la producción de quesos madurados pasta blanda y su incidencia en las propiedades organolépticas, Revista Ciencia e Ingeniería, Vol 36, N° 2, pp 105-110

Bergamini C, Wolf I, Perotti M, Zalazar C, 2009, Caracterización de los compuestos producidos durante la maduración de quesos de oveja elaborados con dos tecnologías de desarrollo propio, Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos: Avances en Ingeniería y Tecnología, pp 41-50.

Borregales C, 1990, Cuadernos PAULRS. Mérida.

Bütikofer U & Rüegg M, 1993, Determination of Nitrogen Fractions in cheese: Evaluation of a Collaborative Study, Flair/Sens.

Compaire C, 1976, Quesos, Tecnología y control de calidad. Madrid.

Fernández J, Marcos M, 1977, Fracciones Nitrogenadas y aminoácidos libres del queso de Los Pedroches, Universidad de Córdoba, España.

García B, 2006, Caracterización fisico-química de diversos tipos de quesos elaborados en el valle de Tutancingo Hidalgo con el fin de proponer normas de calidad, Universidad Autónoma de Hidalgo, Tulancingo.

Hernández R, 2013, Caracterización fisicoquímica de un producto tipo cajeta elaborado a partir del suero dulce de quesería, Universidad Veracruzana, Veracruz.

Íñiguez C, Cardoso F, Suárez V, 2010, Cambios en las características composicionales, reológicas y sensoriales por efecto de la maduración del queso Habanero, Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos, Vol 1, N° 20, pp 31-34.

Juárez M, Fontecha J, Alonso L, Castillo I, 2001, Normalización y mejora de queso semiduro, tradicional y con reducido contenido en grasa, de leche de cabra. Ed Fundación Alfonso Escudero, Madrid.

Londoño M, 2009, Caracterización del queso Momposino y comparación con otros elaborados con adición o no de cultivos iniciadores, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Maldonado R, Rodríguez M, Córdova L, Montilla Y, Vásquez R, Giménez O, Meléndez B, 2011, Esquema tecnológico general y caracterización del queso Hilado Telita.

Marcos M, Fernández J, 1976, Influencia de diversos factores químicos y físicos en la proteólisis de las caseínas del queso, Revista Archivos de Zootecnia, Vol 25, N° 97, pp 73.

Mora M, Marcos A, 1982, Proteólisis del queso Manchego: Cambios en la distribución del nitrógeno soluble, Revista Archivos de Zootecnia, Vol 31, N° 119, pp 27-36.

Olarte C, 2010, Caracterización del queso Camero. Evolución de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante la maduración, Pamplona: Universidad de la Rioja.

Panizzolo L, Araujo A, Taroco L, Rodríguez A, Schöpf G, 2011, Evolución de la proteólisis durante la maduración de quesos Danbo elaborados con distintos cultivos iniciadores, Revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay, N° 6, pp.24-27.

Poveda J, 2001, Efecto de la utilización de distintos cultivos iniciadores en la proteólisis del queso Manchego. Otros aspectos de la maduración., Ediciones de la Universidad de Castilla- La Mancha.

Sánchez M, 2003, Maduración acelerada de queso con bacterias lácticas atenuadas térmicamente, Revista Científica, FCV-LUZ, Vol 13, N° 4, pp 299-306.

Sbodio O, Tercero E, Zannier M, Germán R, 2010, Tratamiento Térmico de Leche: Influencia del pH y CaCl₂ en la Elaboración de Queso Cuartirolo, Revista Información Tecnológica, Vol 21, pp 107-116

Scott R, 1991, Fabricación de Queso, 2° Edición, Ed Acribia SA, Zaragoza España.

Sciancalepore V, 1978, El queso Gouda: Modificación de la técnica tradicional de fabricación; composición química, Revista Agronomía Tropical, Vol 28, N° 4.

Trujillo J, 1996, Procesos de proteólisis primaria que intervienen en la maduración del queso de cabra, Universidad autónoma de Barcelona, Bellaterra.

Veisseryre R, 1980, Lactología Técnica, Ed Acribia, España.

Jubilada de la ULA. Asesora en Tecnología Láctea. Directora de la Productora de Alimentos Lácteos Sta Rosa ULA. Correo electrónico: carmenborregales16@hotmail.com

García, Diana Carolina: *Estudiante de Ingeniería Química.*

González, Aura Marina: *Ingeniero Químico, MSc Química Aplicada, Doctorado en Ciencias Aplicadas Facultad Ingeniería, Profesor Titular, Investigador en Ciencia y Tecnología de la Química Aplicada. Correo electrónico: gonzaurita@gmail.com*

Izaguirre Guarisma, César Miguel: *Licenciado en Química, ULA; Postgrado Interdisciplinario en Ciencia y Tecnología de los Alimentos UCV; Investigador y Coordinador del Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos. Correo electrónico: cmizag@ula.ve*

Carrasco, Lisbeth: *Ingeniero Químico ULA. Correo electrónico: lisbeth_ca12@hotmail.com*

Gómez, Rubén: *Ingeniero Químico ULA, MSc Food Technology Reading University England, Profesor Titular activo ULA, Director del Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos Facultad Ingeniería ULA. Correo electrónico: rcgomez@ula.ve*

Vielma, Rosa Alba: *Farmacéutica, MSc Química de Medicamentos, Doctorado en Ciencias Aplicadas Facultad Ingeniería, Profesora agregada, Jefe del departamento de Ciencia de los Alimentos. rosalbavielma16@gmail.com*

Borregales, Carmen: *Ingeniero Químico ULA. MSc Food Technology Reading University England, Profesora Titular*

Sistema de gestión de riesgos laborales y morbilidad en proyecto del nuevo teleférico de Mérida - Pico Espejo. Venezuela

Ortega, Jose^{1*} ; Yépez, Sara² ; Guedez, Victor²

¹Sociedad Venezolana de salud ocupacional, Soveso, Merida, Venezuela

² Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de LosAndes, Mérida, Venezuela

*josedao@gmail.com

Resumen

El Sistema de Transporte Turístico Teleférico de Mérida es el más alto (4.765 msnm) y segundo más largo del mundo (12,5 Km de trayecto), permitiendo el traslado de personas a través de 5 estaciones y 9 torres, dentro del Parque Nacional Sierra Nevada en los Andes venezolanos. En el año 2010, arranca el proyecto de construcción de un sistema novedoso, luego de su cierre por desgaste en las guayas en el 2008. El proceso constructivo del sistema, implica actividades de alto riesgo, con potencial de daños a la integridad física y a la salud de los trabajadores, que demanda el diseño de un sistema único de gestión de riesgos laborales, con políticas, planes y estrategias que incluyen la identificación y evaluación de condiciones y medios de trabajo, con promoción de prácticas de trabajo seguro y saludable, para el desarrollo de actividades ejecutadas por nativos y extranjeros, que se someten a factores adversos como altitud, clima, humedad y presión atmosférica, que en consecuencia deslindan medidas preventivas especiales. El estudio observacional retrospectivo del perfil epidemiológico de morbilidad de los trabajadores, durante el período 2011-2015, arroja dos grandes causas, como son las enfermedades comunes (70%), con patologías correspondientes al síndrome diarreico agudo, síndrome viral (resfriado común), faringitis aguda, hiperreactividad bronquial, síndrome dispéptico y cefalea no complicada; y las enfermedades de etiología ocupacional (20%), donde los trastornos musculo esqueléticos (artralgias, mialgia, lumbalgia) como las patologías propias de la actividad. A partir del comportamiento epidemiológico de la morbilidad en el desarrollo de trabajos, que demandan diferentes niveles de carga física y metabólica, se despliega el Plan de Vigilancia Epidemiológica de Salud, que requiere entre varias acciones, la instalación de campamentos base en alturas mayores a los 2000 m.s.n.m, para facilitar la adaptación de los trabajadores.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

El teleférico de Mérida-Venezuela, abre operaciones en el año 1960, recorriendo 12,5 Km de trayecto y alcanzando una altura de 4.765 m.s.n.m. En diciembre de 2008, una empresa austriaca realiza una inspección que reveló un avanzado desgaste en las guayas del sistema y recomendó al Gobierno de Venezuela el cierre definitivo para evitar situaciones indeseadas (VENTEL Venezolana de Teleféricos, 2016). Se acata la recomendación y a partir del año 2010, el gobierno venezolano contrató los servicios de otra empresa austriaca para la construcción de un sistema totalmente nuevo, que obligó a la identificación de todos los procesos de trabajo que implican la construcción de este sistema, aplicando tecnología de última generación, tanto para las actividades de obra civil, como para las actividades de obra electromecánica, enmarcado todo esto dentro del Parque Nacional Sierra Nevada. Es así, como tal marco de referencia de construcción que presenta diferentes pisos altitudinales, adiciona riesgos para la salud de los trabajadores de la construcción y otras áreas, pues cuando el cuerpo humano alcanza los 2.100 m.s.n.m., la saturación de la oxihemoglobina comienza a disminuir drásticamente, requiriendo de adaptaciones a corto y largo plazo para compensar, en forma parcial, la falta de oxígeno. Viajar a grandes altitudes puede significar problemas médicos, desde pequeños síntomas de “Mal de montaña” al potencialmente fatal Edema Pulmonar de Altitud (HAPE) y Edema Cerebral de Altitud (HACE), sin obviar otros elementos climáticos que agregan nuevos efectos a la salud de los trabajadores como son: Temperatura, grado de humedad del aire, velocidad del viento y radiación. Lo anteriormente expuesto, indica que la montaña es peligrosa para el trabajador (Instituto de Salud Pública de Chile 2016).

De modo que, para facilitar la adaptación a la altitud, y mejorar la aclimatación de los trabajadores, la empresa constructora instaló dos campamentos base; uno en la Estación La Aguada, ubicada a 3452 m.s.n.m, y otro en la Estación La Montaña, ubicada a 2436 m.s.n.m. Así mismo, como parte del sistema de gestión de riesgos para la selección del talento humano, se implantó la realización de exámenes médicos ocupacionales de pre-empleo a todos los trabajadores, cuyas evaluaciones dependen de las actividades asociadas al puesto de trabajo, piso altitudinal y horario de trabajo. Esta iniciativa, potencia el éxito de la adaptación a las condiciones de trabajo y el rendimiento laboral.

Teniendo en cuenta que el proceso constructivo del proyecto, contempla actividades consideradas de alto riesgo y potencial daños a la salud de los trabajadores, resulta oportuno diseñar un Sistema de Gestión de Riesgos Laborales, objeto de esta investigación, que contemple las políticas y planes requeridos para la identificación y evaluación de las condiciones y medios de trabajo, con la promoción de prácticas de trabajo seguro y saludables. Entre las actividades potencialmente riesgosas destacan: Trabajos en alturas (andamios, guindolas, en vertical), izamiento de carga

(grúas torres, grúas telescópicas, montacargas), excavaciones manuales y con maquinaria, demoliciones manuales, demoliciones con explosivos (CAVIM), espacios confinados, soldadura eléctrica y oxiacetilénica, albañilería, instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias, manipulación y acarreo de material agregados (arena, piedra, cemento), manipulación y acarreo de piezas, herramientas y equipos (montacargas, telehandler, minishovel, martillo compresores) y operaciones helitransportadas. Del mismo modo, se toma en cuenta la cantidad promedio de trabajadores contratados que asciende a 400 trabajadores/mes, con un tiempo de ejecución de 42 meses (2011-2015), lo cual expresado en horas de exposición corresponden a 4.715.645 horas hombre, procurando evitar la discapacidad permanente y enfermedades ocupacionales. La puesta en práctica del presente sistema de gestión de riesgos, ofrece un enfoque útil para mejorar las condiciones de trabajo y la productividad en obras con niveles de dificultad similares.

2 Metodología

Este proyecto se enmarca como un proyecto factible, es decir, como un tipo de investigación proyectiva para la mejora de una situación (Hurtado, 2010). El tipo de investigación mencionada presenta una fase de investigación de campo, según el propósito del diagnóstico y análisis de necesidades correspondientes (Arias 2006). Según el diseño, presenta una fase exploratorio-descriptiva (Hernández, Fernández Lucio, 1991).

La población de estudio consiste en el grupo de trabajadores de la construcción del proyecto del nuevo teleférico de Mérida. Para el tipo de investigación factible se requiere la consideración de fases de investigación como el diagnóstico y análisis de necesidades, la revisión de propuestas de solución, la decisión sobre adoptar una propuesta de solución o desarrollar una nueva y la elaboración de la propuesta. El análisis de datos para la fase de diagnóstico se plantea empleando medidas estadísticas descriptivas tipo cifras absolutas y relativas, presentadas en tablas y gráficos. Mientras que el análisis de necesidades, la revisión de propuestas de solución, la decisión sobre adoptar una propuesta de solución o desarrollar una nueva y la elaboración de la propuesta, implican un análisis de tipo cualitativo.

A continuación, se indica la metodología aplicada, en un diagrama descriptivo, donde se plasma de una forma práctica, las diferentes etapas para el diseño y aplicación de Sistema de Gestión de Riesgos Laborales para el Proyecto del Nuevo Teleférico de Mérida – Pico Espejo, en Venezuela (Fig 1 y 2).

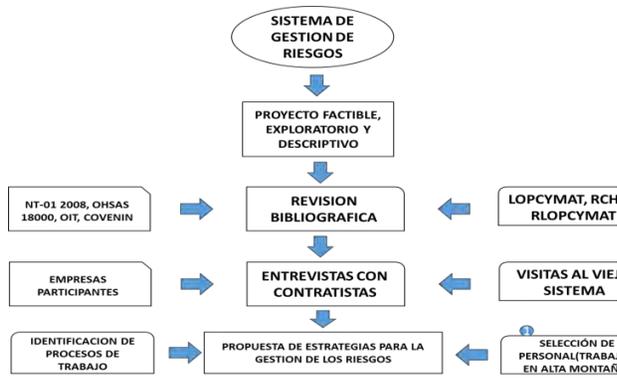


Fig 1. Sistema Macro de Gestión de Riesgos. Fuente: Propia.

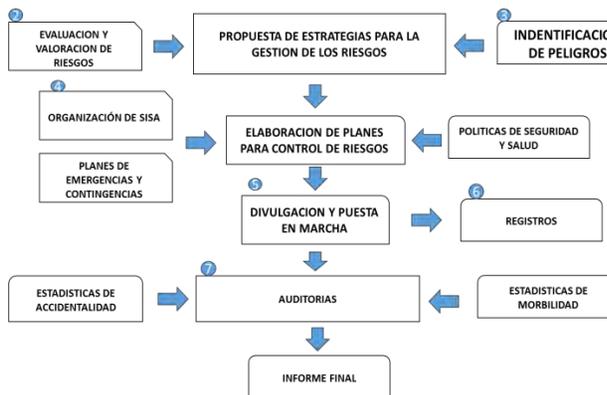


Fig 2. Esquema de Propuestas de Estrategias para la Gestión de Riesgos. Fuente: Propia.

Entendiendo que para diseñar un sistema de gestión de riesgos laborales (SGRL), es necesario establecer una Política de Seguridad y Salud en el trabajo, formar una estructura organizacional responsable (comités SSL y SSST), levantar una lista de todos los procesos de trabajo a desarrollar, identificar los procesos peligrosos, evaluar y valorar los riesgos, y determinar las medidas preventivas y medidas de control pertinentes, para minimizar los riesgos a valores tolerables o eliminarlos. Se realizan actividades vitales como:

-Selección del talento humano: que participa en la construcción de la obra, tomándose en cuenta las condiciones del área donde se desarrollaran las actividades, tales como: Altitud, condiciones climáticas y dificultad de la tarea.

En este sentido, se procura la contratación de personas nativas en alta montaña, específicamente proveniente de los Nevados, Mucuchies, y otras zonas con condiciones similares, con la ventaja de adaptación a la altura. Por otra parte, se procura la contratación de profesionales de la medicina, con experticia en: Medicina ocupacional (con certificado INPSASEL), medicina de alta montaña y medicina asistencial, para abordar los planes de vigilancia epidemiológica de la salud de los trabajadores.

2.1. Identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos

Se identifican peligros, se evalúan los riesgos y se valoran, considerando los lineamientos principales del Sistema de Gestión de Riesgos que se detallan en la Fig 3.



Fig 3. Lineamientos del Sistema de Gestión de Riesgos. Fuente: .



Para cumplir con los estándares preventivo-administrativos de Lopcyamat para cada centro de trabajo, se procede a formar:

Los servicios de Seguridad y Salud en el trabajo se conforman de la siguiente forma:

- a) Coordinación SISA.
- b) Inspectores de Prevención.
- c) Médicos Ocupacional y de Trauma.
- d) Supervisores SHA.
- e) Socorristas Industriales (Ambulancias).

Con respecto al monitoreo y vigilancia epidemiológica, se considera evaluar:

- a. Riesgos y procesos peligrosos.
- b. Salud de los trabajadores.
- c. Accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales.
- d. Uso del tiempo libre y descanso.

En cuanto a los Planes integrales de respuestas ante emergencias, se generan:

- a. Planes de actuación para emergencias (según riesgos)

Naturales, Antrópicos y Tecnológicos).

b. Brigadas de emergencia.

Así mismo, los sistemas de permisos de trabajo y procedimientos de trabajo seguro, se formulan considerando:

1. Análisis de riesgo: El análisis de riesgos en el trabajo (ART), como proceso documentado que consiste en la identificación de los peligros y evaluación de los riesgos, antes y durante la ejecución de un trabajo, para el establecimiento de medidas preventivas y de control que ayuden a evitar la ocurrencia de incidentes, accidentes, enfermedades ocupacionales y/o daños al ambiente, instalaciones y equipos. Esta herramienta se desarrolla para cada actividad de trabajo, y se aplica en obra diariamente. Es importante destacar, que al momento de comenzar las actividades, el Supervisor de estación en conjunto con el supervisor de seguridad, divulgan los riesgos de la actividad específica a ejecutar a través del ART, y de esta forma notificar los riesgos asociados y la manera de minimizarlos, a los trabajadores.
2. Procedimientos de Trabajo Seguro y Saludable: instrucciones detalladas por escrito para la ejecución eficiente y segura de las actividades de obra, cuyo análisis deriva de los principios de Prevención en Seguridad y Salud laboral y las medidas de control en general que regirán la ejecución de los trabajos. Esta herramienta es útil para identificar, evaluar y hacer seguimiento a los riesgos potenciales en las diferentes actividades durante los trabajos a realizarse en la construcción de Obras Civiles asociado a las instalaciones electromecánicas del Proyecto. Todo PTS debe estar disponible en el sitio, y ser discutido con todos los participantes en las labores, previo al inicio de las actividades.
3. Plan de Respuesta y Control de Emergencia: Una vez completados los planes preventivos, expresados en los Programas de Seguridad y Salud en el Trabajo (PGSST) específicos para las condiciones de cada centro de trabajo, entonces se diseñan los Planes para abordar situaciones de emergencia y contingencia, específicos para cada centro de trabajo, y un Protocolo de desalojo general con la utilización del sistema teleférico. Este Plan de respuesta y control de emergencias, se activa con la ocurrencia de cualquier evento que genere daños y lesiones a los trabajadores e instalaciones de la obra. La Gerencia SISA de Doppelmayr promueve la investigación del evento, con la finalidad de preparar un informe para verificar como ocurrieron los hechos, identificar causas y tomar acciones preventivas, para prevenir accidentes similares, y divulgar el evento en la obra.
4. Certificados para Trabajos Especiales: Alturas, izamientos, espacios confinados, electricidad, excavaciones, explosivos, materiales peligrosos, entre otras actividades de carácter especial consideradas del alto

riesgo.

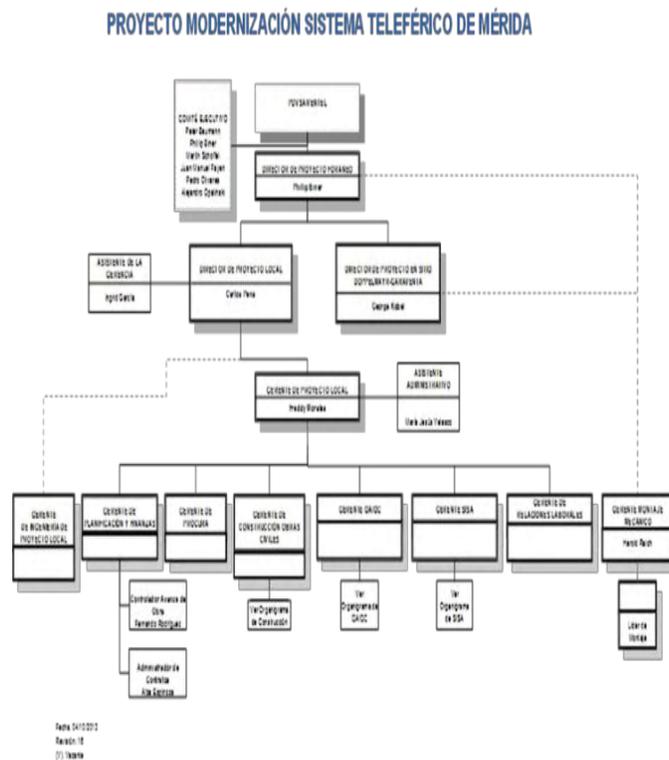
5. Charlas de seguridad pre-trabajo y Permisos de trabajo en frío o en caliente.

2.2. Estructura organizacional del proyecto

El estado venezolano contrata a la empresa Doppelmayr para la construcción del nuevo teleférico de Mérida, bajo la asistencia técnica de PDVSA – Ingeniería y construcción. Al mismo tiempo, la empresa Doppelmayr contrata en condición de delegada a la empresa F&S Consulting CA, para coordinación de todas las actividades a desarrollar para la construcción del proyecto. Así mismo, la empresa F&S Consulting CA, contrata al Consorcio de Alturas RS, conformado a su vez por las empresas constructoras (Ver Fig4): Taller chama, Brriroca, Biankini, Capica y Pialca., para la ejecución de las actividades de construcción civil, y contrata a la empresa PDI Gerencia e Ingeniería, SA para la inspección técnica de los trabajos de la obra.

Fig 4. Organigrama del Consorcio FS. Fuente: Propia.

Gerencia de SISA: La empresa constructora establece la Gerencia de Seguridad Industrial, Salud y Ambiente (SISA), cuya responsabilidad máxima será la ejecución del



Plan de gestión de riesgos, tal como se observa en la Fig 5.

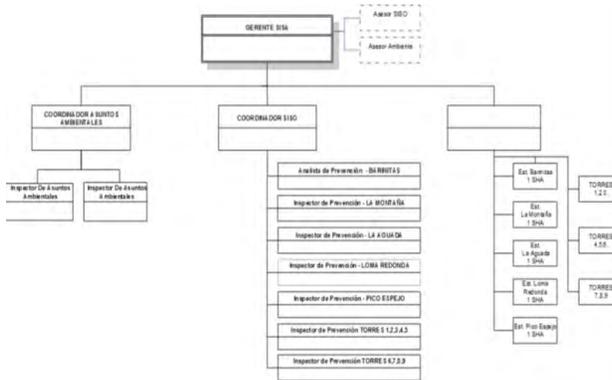


Fig 5. Organigrama de Seguridad Industrial, Salud y Ambiente. Fuente: Propia.

Para ello, se cuenta con la siguiente distribución del personal:

- Un Gerente SISA: máxima autoridad en materia de seguridad y salud en el trabajo, y reporta al gerente general de la obra.
- Un Coordinador principal de Seguridad y Salud Laboral, que se encarga de monitorear el cumplimiento de la gestión preventiva, los planes de emergencias y la investigación de eventos, en conjunto con los inspectores de prevención, y reporta al gerente SISA.
- Un Inspector de Prevención por cada instalación, quien tiene encomendado velar y verificar el cumplimiento de los lineamientos en materia de seguridad y salud laboral, establecidos en el sistema de gestión preventiva.
- Supervisores SHA, quienes tienen la responsabilidad de la ejecución de la gestión preventiva, y estarán ubicados en las estaciones y torres según la distribución de las cuadrillas y procesos peligrosos.
- Socorristas Industriales, quienes deben asistir a los trabajadores en caso de enfermedad lesión, incendio o emergencia natural. Los mismos deben tener conocimientos sobre Medicina Pre-hospitalaria en montaña y rescate, y estarán ubicados en las estaciones y torres según la distribución de las cuadrillas y procesos peligrosos.
- Médicos y Enfermeros, quienes tienen la responsabilidad de cumplir con el plan de vigilancia epidemiológica de la salud de los trabajadores del proyecto.

Cada centro de Trabajo (Estación-Torres) debe conformar su Comité de Seguridad y Salud Laboral, construir y ejecutar el Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo, planes de emergencias, planes de orden y limpieza, y plan de monitoreo ambiental.

2.2. Divulgación y puesta en marcha del SGRL

La empresa constructora, a través de su personal de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional asignado al pro-

yecto, y en comunicación con el coordinador y los inspectores de construcción, se encargan de realizar la divulgación y seguimiento de aplicación de las medidas preventivas y de control contenidas en los PTS y ART, para la ejecución de actividades. Semanalmente o tan frecuentemente como sea necesario, atendiendo a las necesidades reales del proyecto y a la labor que se vaya a ejecutar, se dictarán charlas al personal, y se lleva un registro donde se indique el tema tratado, datos y firma de los asistentes. Los formatos de charlas, ART y PTS debidamente llenado y firmado, debe ser archivado en los registros de Seguridad y Salud laboral correspondientes.

2.3. Auditorias y Registros

Las auditorias del cumplimiento de la gestión preventiva en obra, se realiza a través de las inspecciones de campo. Con el fin de evaluar la marcha del sistema de gestión preventiva, periódicamente los gerentes visitan la obra para constatar “in situ” de los problemas presentados, dar las recomendaciones requeridas y apoyar en forma directa su aplicación. Por lo tanto, el gerente de construcción y el gerente de SISA, realizan visitas e inspecciones periódicas a la obra, para corroborar que se están cumpliendo los siguientes aspectos: Condiciones inseguras e insalubres de trabajo, cumplimiento de los planes y programas de Seguridad y Salud en el Trabajo, estado del orden y limpieza en las áreas de trabajo, estado de las condiciones de las herramientas, equipos y accesorios de seguridad, demarcación y protección de las áreas peligrosas e insalubres, condiciones de motivación y comportamiento del personal, condiciones generales de los campamentos, condiciones de los alimentos que se sirven en los comedores, protección de los trabajadores contra las inclemencias del clima, estado de las plantas de electricidad de emergencia, vigencia de los Planes de Emergencia y simulacros.

3 Análisis e interpretación de resultados

El proceso constructivo se resume en tres etapas fundamentales: Demolición (2011-2012), armado de estructura (2013-2014), puesta en funcionamiento de instalaciones y sistemas (2014-2015). Los resultados de la implementación de las medidas, organización y estrategias marcan la tendencia de los índices de seguridad, se presentan a continuación:

1. La cantidad de trabajadores contratados para el desarrollo de las actividades del proyecto durante el proceso, y expuestos a los diferentes elementos de riesgos antes mencionados, se presentan a continuación en el gráfico 1.



Gráfico 1. Histórico de la Cantidad de Trabajadores por mes de todo el Proceso Constructivo. Fuente: Propia.

Análisis: En el gráfico 1, se observa que la mayor cantidad de trabajadores fueron contratados en el segundo y tercer trimestre de cada año, con un máximo de 657 trabajadores y un promedio global de los 4 años de 381 trabajadores/mes.

2. La cantidad de horas hombre de exposición acumulada durante la ejecución del proyecto, se muestra a continuación en el grafico 2.

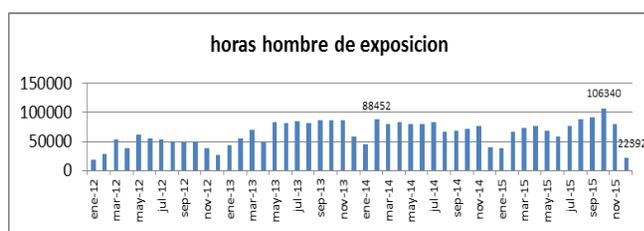


Gráfico 2. Histórico de la Cantidad de Horas Hombre de exposición por mes. Fuente: Propia.

Análisis: En el gráfico 2, se observa que la mayor cantidad de horas de exposición fueron reportadas en el segundo y tercer trimestre de cada año, con un máximo de 106.340 horas/mes y un promedio global de 60.000 horas/mes en los 4 años.

3. El comportamiento de los indicadores preventivos de gestión, que ilustra el histórico de las tendencias estadísticas de las charlas de seguridad dictadas al personal de la obra, se representan a continuación en el grafico 3.



Gráfico 3: Cantidad de Charlas de Seguridad por mes. Fuente: Propia.

Análisis: En el gráfico 3, se observa que en las primeras etapas del proyecto (demolición 2011-2012), las actividades altamente riesgosas potencian las posibilidades de accidentes, lo cual demanda mayor esfuerzo del equipo de prevención en la capacitación de los trabajadores a través de charlas de seguridad y cursos de capacitación, para la iden-

tificación y tratamiento de los procesos peligrosos.

Así mismo, en los años siguientes, la demanda de capacitación y adiestramiento fue disminuyendo progresivamente, en la medida que se fue creando una conciencia de seguridad colectiva en los trabajadores de la obra, manteniendo como mínimo 16 horas trimestrales de capacitación y adiestramiento por trabajador. Esta tendencia se ratifica en el histórico de las horas de capacitación y divulgación de PTS y ART, reflejadas a continuación en los gráficos 4 y 5.



Gráfico 4: Cantidad de Horas de Capacitación por mes. Fuente: Propia.

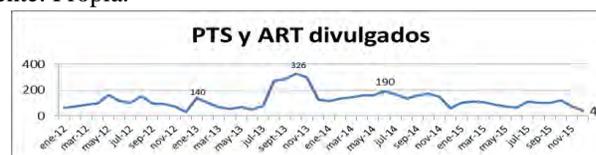


Gráfico 5: Cantidad de PTS y ART divulgados en obra por mes. Fuente: Propia.

La mayor cantidad de procedimientos documentados y divulgados, se presentó en el periodo desde septiembre de 2013 a septiembre de 2014, debido al desarrollo de la etapa de armado de estructuras de la obra.

Otra herramienta determinante para la identificación de condiciones inseguras e insalubres, correspondió a las inspecciones de seguridad en obra, cuya tendencia histórica se represen

La mayor cantidad de procedimientos documentados y divulgados, se presentó en el periodo desde septiembre de 2013 a septiembre de 2014, debido al desarrollo de la etapa de armado de estructuras de la obra.

4. Otra herramienta determinante para la identificación de condiciones inseguras e insalubres, correspondió a las inspecciones de seguridad en obra, cuya tendencia histórica se representa a continuación en el grafico 6.



Gráfico 6: Cantidad de inspecciones de seguridad por mes. Fuente: Propia.

Análisis: En el gráfico 6, se observa que la cantidad de inspecciones se incrementaron a partir del tercer trimestre del año 2013 hasta finales del 2014, debido al cumplimiento de las recomendaciones emanadas de los informes de investigación de eventos, que apuntan a fortalecer la corrección de condiciones inseguras e insalubres en el tercer trimestre del 2012 y segundo trimestre de 2013.

En cuanto a las estadísticas de accidentalidad, y el comportamiento de los índices correspondientes, se presentan a continuación el histórico por mes:

1. Cantidad de accidente por mes: En el gráfico 7, se representa a continuación el comportamiento histórico de la cantidad de accidentes por mes ocurridos durante el desarrollo de las actividades del proyecto.



Gráfico 7: Cantidad de accidentes por mes. Fuente: Propia.

Análisis: En el gráfico 7, se observa que la mayor cantidad de accidentes ocurren durante los primeros meses de la obra, es decir, durante la etapa de demolición, debido a la alta carga física en el desarrollo de actividades tales como: excavación a mano, acarreo de material, acarreo de equipos y herramientas, manipulación manual de cargas, etc.

En los meses siguientes la tendencia fue disminuyendo progresivamente, debido al incremento de la gestión preventiva de divulgación e implantación de los PTS y ART, así como una mayor cantidad de inspecciones de seguridad para identificar y controlar las condiciones inseguras e insalubres detectadas en obra. Los accidentes más frecuentes fueron: caídas al mismo nivel, golpeador por/contra, aprisionado por/contra, esguince, traumatismos, quemaduras y cortaduras.

Las partes del cuerpo afectadas con más frecuencia fueron: manos, cuerpo y pies.

Así mismo, en el gráfico 8 se representan a continuación, los días perdidos por reposos, en el periodo enero de 2012 a diciembre 2015.

Análisis: En el gráfico 8, se observa que los eventos con mayor severidad ocurrieron en el segundo trimestre del 2012, y el segundo y tercer trimestre de 2013.

Así mismo, el segundo y tercer trimestre de 2015 se presentan tres eventos importantes que representan los de mayor severidad en el proyecto.

En cuanto a los índices reactivos, se tomaron en consideración para esta investigación, los índices de frecuencia neta y severidad acumulados 2012 – 2015.



Gráfico 8: Cantidad de días perdidos por accidente por mes. Fuente: Propia.

En los gráficos 9 y 10, se representa el comportamiento histórico de la frecuencia neta acumulada y la severidad respectivamente, en el periodo enero 2012 a diciembre 2015.

Análisis: En el gráfico 9 se presentan los valores del índice de frecuencia neta acumulada, expresados en dos tendencias gráficas, la línea roja en el gráfico representa una estimación del valor máximo aceptable del índice de frecuencia neta (IFNmax), basado en un número máximo de

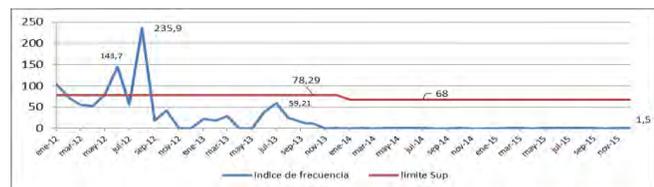


Gráfico 9: Comportamiento estadístico del índice de frecuencia neta acumulada por mes. Fuente: Propia.

accidentes permitidos, por la dificultad de los trabajos y el alto grado de riesgos de las actividades, y la línea azul representa el comportamiento del índice de frecuencia neta acumulada (IFN) en el desarrollo de la obra. En el segundo trimestre de 2012, se registró una cantidad importante de accidentes con tiempo perdido, donde el $IFN > IFN_{max}$, superando la banda permisible, lo cual activo un plan especial de capacitación e inspección de las condiciones y medios de trabajo. En los meses siguientes el comportamiento del IFN se mantuvo con valores dentro de la banda aceptable.

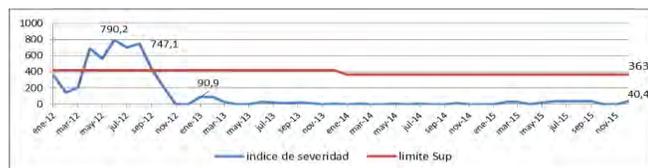


Gráfico 10: Tendencia estadística del índice de severidad acumulada por mes. Fuente: Propia.

Análisis: En el gráfico 10 se presentan los valores del índice de severidad acumulada, expresados en dos tendencias gráficas, la línea roja representa una estimación del valor de índice de severidad máximo (ISmax), basado en un máximo de días de reposo por una discapacidad parcial permanente, debido a la dificultad de los trabajos y el alto grado de riesgos de las actividades, y la línea azul representa el comportamiento del índice de severidad acumulada

(IS) en el desarrollo de la obra. En el segundo trimestre de 2012, se registró una cantidad importante de accidentes con días perdidos, donde $IS > IS_{max}$ superando la banda permisible, lo cual activo un plan especial de capacitación del personal, e inspecciones de las condiciones y medios de trabajo. En los meses siguientes el valor del IS se mantuvo dentro de la banda aceptable.

4 Conclusiones

El diseño del Sistema de Gestión de Riesgos Laborales (SGRL) comprendió el establecimiento de políticas, planes y estrategias de campo, logrando dar cumplimiento a los estándares establecidos en Iopcymat, con condiciones de trabajo especiales y condiciones climáticas extraordinarias, teniendo como resultado, un total de 4.715.645 horas de exposición sin una discapacidad permanente y sin una enfermedad ocupacional. Para la implantación del SGRL fue necesario el establecimiento de una estructura organizacional (Gerencia de SISA), cuya responsabilidad máxima sería la ejecución del Plan de Gestión. Esto permitió la documentación e implementación de planes específicos en cada instalación de la obra, con la puesta en práctica de acciones preventivas pertinentes, logrando el control de los riesgos en obra.

La gerencia de SISA, establece las políticas, planes y lineamientos que deben cumplir las empresas contratistas ejecutores del proyecto, que incluye la identificación y evaluación de las condiciones y medios de trabajo, con la promoción de prácticas de trabajo seguro y saludable, para el desarrollo de las actividades. Esto permitió la documentación e implantación de planes de seguridad específicos para cada instalación, bajo la orientación y supervisión de los inspectores de prevención de la empresa austriaca Doppelmayr.

El establecimiento de los planes de seguridad específico para cada centro de trabajo, permitió la divulgación de procedimientos de trabajo seguro (PTS) y análisis de riesgos en el trabajo (ART) diaria, a través de las charlas de seguridad, logrando la creación de una conciencia de seguridad colectiva en los trabajadores.

La morbilidad laboral en términos generales depende de la condición física de la población trabajadora, de las condiciones de vida y de las condiciones de trabajo. Cuando las enfermedades son heterogéneas, confiere la posibilidad de detectar diferenciales de enfermedad entre los grupos involucrados en cada tipo de trabajo, y expresarlos en función de las características del trabajo.

Los principales patologías reflejadas en los informes de morbilidad, objeto de este estudio, fueron: Síndrome diarreico agudo, síndrome viral (resfriado común), faringitis aguda, hiperreactividad bronquial, bronquitis aguda, síndrome dispéptico y cefalea no complicada, las cuales se clasificaron en el grupo de enfermedades comunes, y los tras-

tornos musculo esqueléticos, clasificados en el grupo de las enfermedades de presunto origen ocupacional. Lo anteriormente expuesto, indica que la mayoría de las patologías corresponden al grupo de enfermedades comunes, y los trastornos musculo esqueléticos que se ubican en el grupo de las enfermedades de posible etiología ocupacional, se manifiestan durante todos los meses de ejecución de la obra, aunque en los últimos meses con menor influencia.

El comportamiento epidemiológico de la morbilidad en el desarrollo de trabajos varios, que demandan diferentes niveles de carga física y metabólica, fue el estimado en el Plan de vigilancia epidemiológica de la salud de los trabajadores, lo que justificó la instalación de dos campamentos base en alturas mayores a los 2000 m.s.n.m, con la asistencia de médicos y enfermeros familiarizados con la medicina de alta montaña, para facilitar la adaptación de los trabajadores a la altitud y los diversos factores climáticos (Ortega 2016).

Recomendaciones

Para el diseño de un sistema de gestión de riesgos laborales aplicable a la construcción de un teleférico, se recomienda el establecimiento de una mesa técnica multidisciplinaria, donde se puedan listar todos los procesos de trabajo, se identifiquen los procesos peligrosos, y se realicen los procedimientos de trabajo con las medidas preventivas y medidas de control, requeridas para minimizar a valores tolerables o eliminar los riesgos laborales, con el fin de evitar la ocurrencia de accidentes y enfermedades ocupacionales. Una vez documentados los PTS, se recomienda su divulgación a través de charlas pre-trabajo, procurando la firma de los trabajadores, en señal de haber recibido la información.

Se recomienda promover el cumplimiento de las obligaciones legales y técnicas, contempladas en las normas, leyes y reglamentos en materia de seguridad y salud laboral.

Se recomienda realizar la investigación de forma exhaustiva de todos los accidentes, incidentes y enfermedades ocupacionales, con el propósito de reconstruir los hechos, identificar las causas, potenciales consecuencias, desarrollar conclusiones y divulgar las lecciones aprendidas a todo el personal de la obra.

Para minimizar los posibles efectos de la exposición a la alta montaña, se recomienda:

- a) La instalación de campamentos a niveles mayores a los 2000 msnm.
- b) La vigilancia epidemiológica de la salud de los trabajadores, con la premisa de seleccionar personas nativas del área donde se desarrollarán los trabajos.
- c) Instalación de puestos de atención médica de emergencias (PAME), con médicos, enfermeros y socorristas, para atención de trabajadores en régimen de pernocta, atención de lesionados y atención de primeros auxilios.
- d)

Se recomienda establecer programas motivacionales con objetivos de cumplimiento de los estándares de seguridad y salud laboral.

Referencias

Aranguren Álvarez W, 2010, Violación a la normativa laboral en Venezuela: un análisis desde los servicios de inspección del trabajo. *Revista Gaceta Laboral*, 16(2): 195-214. Universidad del Zulia (LUZ). ISSN 1315-8597.

Arnal J; Del Rincón D; La Torre A, 1996, Bases metodológicas de la investigación educativa. Barcelona – España. Editorial Grup92.

Anderegg E, 1978, Técnicas de Investigación Social, (19ª edición), Buenos Aires – Argentina. Editorial Humanitas.

Arias FG, 1999, El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración. (3ª edición), Caracas – Venezuela. Editorial Episteme.

Bavaresco de Pietro AM, 1997, Proceso Metodológico de la Investigación (Como hacer un Diseño de Investigación), Maracaibo – Venezuela. Editorial de la Universidad del Zulia.

BUNGE M, 1985, La Investigación Científica. (2ª edición). Barcelona – España. Editorial Ariel S.A.

FASTMED, 2014. El ABC de la LOPCYMAT. Aspectos técnicos de la LOPCYMAT. [Documento en línea]. Recuperado de: <http://fastmed.com.ve/aspectos-tecnicos-la-lopcymat/>.

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Reglamento Parcial de la Ley Orgánica de Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. Gaceta Oficial N° 5.890.2008. República Bolivariana de Venezuela (2008). Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley para la Promoción y Desarrollo de la Pequeña y Mediana Industria y Unidades de Propiedad Social. (Extraordinario) 31 de julio de 2008. Prevención, Condiciones y Medio Ambiente del Trabajo. 38.596 de 2007, enero 3.

Guedez V, 2014, Nuevas alternativas para estudios de puestos de trabajo y la prevención de patologías musculoesqueléticas. Ponencia presentada en las I Jornadas de Salud Ocupacional. [Memorias en línea]. Recuperado de: <http://www.iaesp.edu.ve/index.php/centro-de-descargas/finish/3-libros-y-publicaciones/3693-2013--memorias-jornada-salud-ocupacional-2013>.

Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P, 2003, Metodología de la investigación. 4ta Edición. México: Mc Graw Hill.

Hurtado de Barrera J, 2010, Metodología de la Investigación. Guía para una comprensión holística de la ciencia. (4ª ed.). Caracas-Bogotá: Ediciones Quirón- Sypal.

Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (BOE n° 269 de 10 de noviembre).

Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), publicada en Gaceta Oficial número 38.236, de fecha 26 de julio de 2005. Caracas.

Márquez Robledo MA, 2013, Ergonomía integral: Funda-

mentos básicos de ergonomía. San Cristóbal, Venezuela: Fondo Editorial UNET.

Mendoza Pérez LE, 2012, La LOPCYMAT. El Régimen Sancionatorio. Segunda Edición. Caracas. Vadell Hermanos Editores.

Mondelo PR, Gregori E, Barrau P, 2009, Ergonomía 1 Fundamentos. Primera Edición. Editorial Alfaomega. Mexico.

Mondelo, P.R., Gregori, E. y Barrau, P., 2009. Ergonomía 2 Confort y Estrés Térmico. Primera Edición. Editorial Alfaomega. Mexico.

Mondelo PR, Gregori E, Barrau, 2009, Ergonomía 2 Confort y Estrés Térmico. Primera Edición. Editorial Alfaomega. Mexico.

Mondelo PR, Gregori E, Barrau P, 2011, Ergonomía 3. Diseño de puestos de trabajo. Segunda Edición. Editorial Alfaomega. Mexico.

Mondelo P, Karwowski W, Saarela K, Hale A, Occipinti E; 2012, Proceedings of the 10th International Conference on Occupational Risk Prevention ORP2012.

Norma Técnica para la Investigación de Enfermedades Ocupacionales NT-002, 2008. Fondonorma.

Norma Técnica Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo NT-001, 2008. Fondonorma.

R.D. 39/1997. Reglamento de los Servicios de Prevención (BOE n° 27 de 31 de enero).

Sampieri R, 1998, Metodología de la Investigación (2ª edición). México. Editorial Mc. Graw - Hill.

Serie de normas ISO 9000 sobre sistemas de calidad. ISO 10013 Manual de Calidad.

Serie de normas UNE 81.900-Ex sobre sistemas de Prevención de Riesgos Laborales.

Ortega, Jose David: MSc en Ingeniería de Protección Integral (ULA-PDVSA-CIED, 1995), Ingeniero Electricista graduado en la Universidad de Los Andes. Director de Seguridad y Salud Ocupacional de obras de embergadura como el Proyecto del Nuevo Teleférico de Mérida-Venezuela, Construcción del Estadio Metropolitano de Mérida-Venezuela, Acueducos, Gasductos y otros proyectos de PDVSA.

Ypez Sara: MSc en Ingeniería de Mantenimiento (ULA, 2009), profesora asistente de la catedra de Gerencia y Producción de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes. Prof. del Postgrado de Ingeniería de Mantenimiento de la ULA e integrante del Grupo de Investigación GRUTEK-ULA. Correo: sarayez@ula.ve

Guedez Victor: Ph.D. en Ingeniería, MSc Manufactura Integrada por Computador CIME y MSc en Ergonomía. Profesor Titular Jubilado de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes. Correo: guedez@ula.ve

Capítulo 48

Sistema planificación en empresas holónicas

Chacon, Edgar^{1*}; Cardillo, Juan²

¹Dpto. de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida Venezuela.

²Dpto. Sistemas de Control, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida Venezuela.

*echacon@ula.ve

Resumen

En este artículo se muestra una manera de realizar la planificación de la producción utilizando el enfoque autónomo distribuido (Holónico) en el proceso de producción, con el fin de cumplir con el requerimiento de flexibilidad y reconfiguración en la producción. Este esquema de planificación da la posibilidad de poder establecer una planificación en línea basada en el estado de los componentes del proceso de producción (unidades); así, la planificación establecida se puede llevar a cabo bajo control con un alto grado de confiabilidad en la elaboración de la orden de producción.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

Cuando se habla de enfoques de automatización, estos siempre centran su atención en el desarrollo en implantación de los mecanismos de toma de decisiones (establecer supervisores). Como en la teoría de control clásica, los esquemas de toma de decisiones, esto es, hacer control, se conciben por alcanzar y mantener de una referencia, esto se traduce en una consigna en la regulación, un cronograma en la supervisión, y un plan en la gestión. Así, el plan es el resultado de la planificación de órdenes de producción. En este artículo presentamos como establecer la planificación de un orden de producción y proyectarla en la planificación del proceso de producción mediante el enfoque holónico, estableciendo heterarquías. Así, en 2 Planificación de Procesos de Producción, se describe como se realiza la planificación en una empresa considerando ¿Cómo se hace?, con el conocimiento del producto (receta), ¿Quién los ejecuta?, distribución física de ISA-95 y el manejo de la orden. En (3) Empresas Holónicas, se describe la concepción de la Empresa Holónica vista como la agregación de Unidades Holónicas de Producción. En (4) Planificación de Unidades de Producción, se muestra como lo descrito sobre planificación en 2, se proyecta desde la Empresa Holónica hacia las Unidades Holónicas que la conforman. En (5) se presentan las conclusiones.

2 Planificación de Procesos de Producción

Planificación, consiste en la evaluación de la factibilidad de obtener un producto con los recursos disponibles en la planta y la estimación del material necesario para la fabricación. En el caso de no existir el material, se efectúan las funciones asociadas a las compras. En algunos casos la planificación toma en cuenta la capacidad disponible de los recursos de producción. El resultado es el ajuste al Plan de Producción y la generación de Órdenes de Producción. El plan necesita tener un modelo del producto que determina Ruta de Producto y Lista de Materiales.

En los procesos de producción la planificación consiste de la asignación de recursos para cumplir con un objetivo de producción. En la forma clásica la planificación se basa en la capacidad instalada que posee el proceso y en función de unos compromisos de producción se establecía una planificación que no era de fiel cumplimiento. Esto debido a que se dejaba de un lado el comportamiento intrínseco de los componentes del proceso (Unidades), por lo tanto, la planificación realizada muchas veces no se ajustaba a la realidad del proceso de producción. Una visión más ajustada a la realidad de cómo hacer una planificación del proceso de producción es el manejo de Orden de Producción que considera tres factores:

- Ejecución sobre el recurso, esto es usando la estructura organizativa física del proceso de producción, en este trabajo se sigue el esquema establecido en ISA95, en cuando a que la estructura de una

empresa está constituida por Plantas, las Plantas por Unidades y las Unidades por Equipos.

- Conocimiento del producto, esto es ¿Cómo se hace?, establecido por la receta.
- El manejo de la orden, que consiste en proyectar la orden sobre la estructura del proceso físico.

La interrelación de estos tres factores y la secuencia para establecer una planificación validada es mostrada en la figura 1.

Siguiendo el flujo en la Fig. 1, se tiene que antes de establecer un orden de producción, en (0) en Planta se tiene la forma de efectuar la receta (lo puedo hacer y con cual método) esto es proyección de la receta en el proceso de producción. Así se revisan los procesos (1), estableciendo la ruta del producto, cada proceso involucrado contiene un conjunto de etapas (especificación del proceso) y esto define los recursos, RRHH, equipos, etc. (2), se verifica la disponibilidad de recursos (3). Se seleccionan las unidades (4) de acuerdo a los procesos y las etapas definidas. Con la selección de las Unidades se tiene una pre-aceptación de la orden (5). Se evalúa el plan preliminar, si no es aceptado se rechaza la orden (6), si se acepta el plan preliminar pasa a los planes de producción (7) quienes establecen los requerimientos y las ordenes de trabajo de cada una de las unidades (8), se procede a reservar los recursos y a realizar la distribución de las Ordenes de Trabajo (9) y se contrastan con las etapas, para realizar la asignación física de las Unidades (10), quienes verificaran la disponibilidad física para efectuar la Orden de trabajo según los pasos requeridos, (11) y luego cada unidad define las ventanas de tiempo para realizar el producto según los pasos en los equipos (12), se realiza la reserva de los equipos de las unidades (13), se acepta la orden de trabajo por las unidades (14), se acepta la orden de producción (15) por la planta, se actualizan las agendas (16), se da el visto bueno a la orden el plan de producción y se le notifica el cliente sobre la aceptación de la orden el tiempo entrega y otros detalles sobre la orden (17).

Podemos decir que alcanzar el proceso de producción está conformado por 3 elementos (ver Fig. 2), que permiten aceptar una orden de producción, a saber:

- Modelo de conocimiento, conformado por el modelo de producto, el modelo de proceso y el estado de los recursos.
- Forma de Producirlo, que es proyectar la receta sobre la planta, reservar los recursos y establecer las ordenes de trabajo, esto es planificar.
- Cómo producirlo. Con las órdenes de trabajo se establece el cronograma para cada orden de trabajo respetando la secuencia de producción unidades seleccionadas el cronograma. A cada cronograma, se le establece el supervisor respectivo y el conjunto de parámetros de los controladores requeridos en la ejecución.

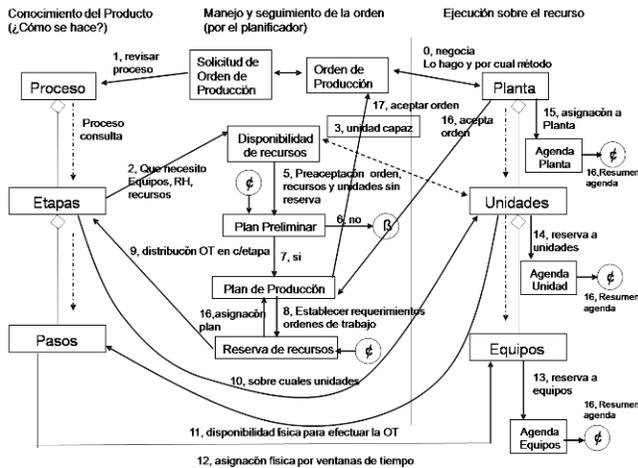


Fig. 1. Manejo de la orden de producción, Planificación

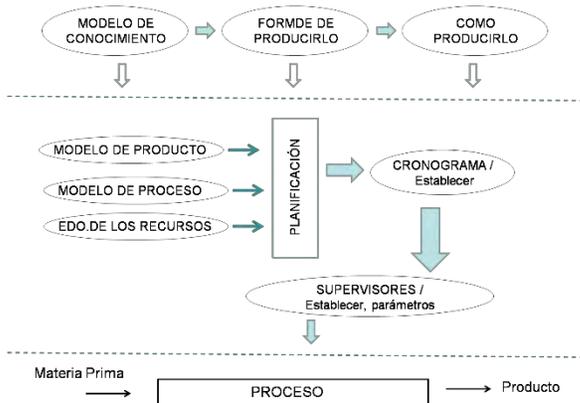


Fig. 2. Proceso de Planificación

Así, se puede obtener una planificación validada

3 Empresas Holónica

Un sistema de manufactura holónico es considerado como una estructura autónoma cooperante. Autónoma por la capacidad de tomar sus propias decisiones en cuanto a las actividades de planificación, supervisión y ejecución física (Duncan 1995).

En (Cardillo J, y col., 2008), se muestra como de forma natural, a partir del modelo de negocio y la determinación de la cadena de valor se puede obtener el modelo operacional de la empresa. Si a cada eslabón de la cadena de valor le asociamos una unidad de producción, y le incluimos el flujo del producto entre ellas, el enfoque holónico nos permiten capturar un modelo coherente del proceso de producción en toda su globalidad y complejidad dando origen al modelo integrado de Empresa Holónica (EH) que se muestra en la Fig. 3.

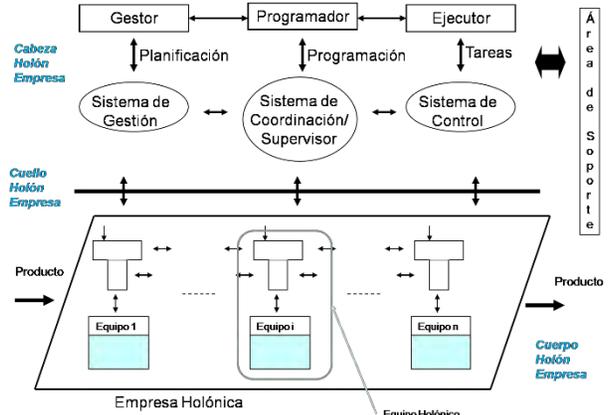


Fig. 3. Empresa Holónica

El modelo representado en la Fig. 3, propone que todo el manejo de conocimiento de la empresa es llevado a cabo por 3 entidades (gestor, programador, ejecutor) interrelacionadas que generan 3 mecanismos de toma de decisiones. Si bien es cierto que estos mecanismos de toma de decisión son heredados de la propuesta clásica jerárquica, la diferencia se establece por considerar la dinámica global de la empresa, como una interacción de los modelos de las entidades de forma horizontal y de una heterarquía de modelos de forma vertical. Las entidades horizontales se integran por mecanismos que traducen el plan global en un plan para cada una de las unidades y cada unidad establece un plan para sus equipos. De forma vertical, dados los planes en cada entidad la integración ocurre por mecanismos que implantan los esquemas de toma de decisiones. A todo lo que conforma el conocimiento se denomina cabeza del Holón Empresa. Así, el cuello del Holón Empresa está dado por todos los mecanismos capaces de interconectar todos los sistemas establecidos en las tres entidades y el cuerpo del Holón.

La estructura de sistema embebido se conserva y cada unidad del cuerpo del Holón Empresa es un Holón, tal y como se muestra en la Fig 4.

3.1 Unidad Holónica de Producción

En esta subsección se definirá, de forma genérica, los 4 sistemas de UP, tal y como es definida en (Chacón y col., 2012, Cardillo y col., 2014)

Sistema de Gestión

El sistema de Gestión es el encargado de negociar las órdenes de producción, esto es, evalúa las órdenes de producción (acepta o rechaza), establece la planificación de las órdenes aceptadas y además replanifica las órdenes de producción por fallos en la ejecución de órdenes de trabajo asociadas a una orden de producción. Éste conoce de las recetas y su proyección en el proceso de producción por lo tanto establece la alineación de las etapas, la configuración de cada etapa y la secuencia de operaciones en la etapa.

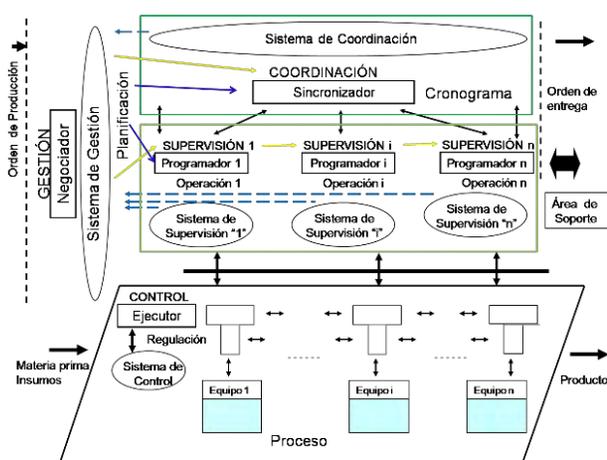


Fig. 4. Unidad Holónica de Producción

Entradas externas: Órdenes de producción, materia prima e insumos

Entradas internas: Estado de las etapas y alineación, evolución del cronograma

Proceso: Sistema de Gestión

- Evaluar Órdenes de Producción y Estado de la Unidad (calidad, cantidad, tiempo, confiabilidad)

- Evaluar la receta (lo produzco: aceptado (calidad, cantidad), rechazado)

- Proyectar la receta sobre los recursos: Evaluar requerimientos de materia prima e insumos (los tengo: aceptado, rechazado),

- Evalúa Recursos y Alineaciones admisibles (modelo DES),

- Establecer y asignar cronograma de asignaciones de materia prima (tiempo, cantidad, calidad), Determinar Configuración: Asignación de recursos físicos (alineación de etapas, controladores y parámetros y tiempo/consignas), Determinar modo almacenamiento y entrega de producto

- Actualizar Planificación, establecer cronograma, programas (status, tiempos),

- Seguir las órdenes de producción y estado de la unidad

- Estado de la orden/cronograma de producción (evolución; estatus): (Inicio; aceptado, degradado, fallo), (Elaboración, %; aceptado, degradado, fallo), (Finalización; ok, degradado, fallo), a partir del estado de las ordenes de trabajo

- Estado de la Unidad (Condición, confiabilidad)

- Estado del flujo de producto: identificación por lote (debido a materia prima), conciliar producto a la entrada y a la salida de la unidad (cantidad, calidad, tiempo/condición entre etapas, tiempo/condición en la unidad)

- Estado de la Alineación

- Establecimiento de condición de continuación de orden o reinicio de proceso o replanificación de la orden si fallo.

- Almacén/Despacho orden de producción y reinicio de la unidad: Almacenamiento de producción según orden,

Entrega de la producción según orden

Salidas externas: Condición de la Unidad, estatus de las órdenes de producción.

Salidas al sistema de coordinación: cronograma actualizado y configuración de las etapas

Estado del sistema de gestión (variables de gestión):

- Estado de la orden de producción (evolución; estatus)

- Estado de la Unidad: Calidad del producto de entrada, Calidad del producto elaborado, Rendimiento de la unidad, Confiabilidad de la Unidad, Costo de producción de la Unidad.

Sistema Coordinación/Supervisión

El Sistema de Coordinación/Supervisión es el encargado de evaluar, seguir cronograma/secuencia de operaciones dado por planificación. Realiza la sincronización entre las etapas de la unidad (evalúa y controla la alineación entre etapas).

Entradas externas: cronograma de asignación de materia prima e insumos y de sincronización con las etapas, Secuencia de operación y los valores consignas tanto de flujo de producto como de operación en la etapa

Entradas internas: Estado de las etapas, alineación actual, variables asociadas a condición de equipos, variables asociadas a flujo de materia prima e insumos

Proceso: Sistema de Coordinación/Supervisión

- Evaluar del Cronograma la configuración de las etapas y Estado de las Etapas, secuencias asociadas a la etapa.

- Establecer y seguir la configuración de las etapas:

Establecer la alineación entre las etapas: estatus de la alineación y consignas de sincronización, Establecer la configuración de la etapa, estatus de la etapa, establecer Consignas de sincronización, Establecer los puntos de consigna, tipo de controlador y parámetros

- Evaluar el estado del cronograma (evolución; estatus): Estado de las Etapas (Condición, confiabilidad), Estado del flujo de producto entre etapas: identificación por lote (debido a materia prima), conciliar producto a la entrada y a la salida entre etapas (cantidad, calidad, tiempo/condición en etapas, tiempo/condición en las etapas)

- Seguimiento de la configuración de la etapa: Evaluar el estado de la secuencia de operación (evolución; estatus), Estado de la Etapa (Condición, confiabilidad)

- Estado del flujo de producto en la etapa: conciliar producto a la entrada y a la salida entre etapas (cantidad, calidad, tiempo/condición en la etapa, tiempo/condición)

- Establecimiento de condición de continuación de configuración o reinicio de las etapas o reconfigurar el cronograma si fallo.

Salidas externas: Estado de las etapas (Status, confiabilidad) y Configuración (alineación actual de las etapas), evolución del cronograma (estatus), consignas de la secuencia

Salidas al sistema de Coordinación/Supervisión: Secuencia de operación de cada etapa actualizada y configuración de los equipos

Estado del sistema de Coordinación/Supervisión (variables de coordinación/Producción):

- Estado del cronograma (evolución; estatus)
- Estado de la configuración (alineación): Cantidad y calidad de producto transportado entre etapas, Conciliar producto entre etapas (modelo con retardo), Rendimiento, confiabilidad y costo de la configuración

Sistema de Ejecución/Control

El Sistema de control es el encargado de evaluar y seguir la consigna establecida por el supervisor. Realiza el seguimiento de las variables involucradas en el proceso (evalúa y controla cada lazo del proceso), detección de alarmas por anomalías.

Entradas externas: Consignas, tipo de controlador y parámetros del controlador.

Entradas internas (capturadas): Variables de proceso contraladas y controlables asociadas a cada lazo.

Proceso: Sistema de Control

- Evaluar la condición de variables contraladas y controlables
- Evaluar condición de los equipos.
- Establecer condición del lazo: Evaluar error de seguimiento asociado al punto de consigna de lazo, Evaluar condición de los equipos, Verificar el flujo y calidad del producto, Seguimiento de la consigna
 - Evaluar el error de seguimiento asociado al punto de consigna estado (evolución; estatus)
 - Determinar el estado del proceso, Determinar estado del flujo de producto en el proceso: conciliar producto a la entrada y a la salida del proceso (cantidad, calidad, tiempo/condición en la etapa, tiempo/condición)
 - Establecimiento de condición de continuación asociada a la consigna o reinicio del proceso o reconfiguración si fallo.

Salidas externas: Valores de las variables controladas, Estados de los equipos y del flujo de producto (indicadores, alarmas)

Estado del sistema de control (variables de proceso):

- Error de seguimiento, Condición de los equipos de lazo, Estado de la configuración del lazo: Cantidad y calidad de producto elaborado en la etapa, Conciliar producto entrada/salida en la etapa (modelo con retardo), Rendimiento, confiabilidad y costo de los equipos.

4 Planificación en Unidades Holónicas

En (Cardillo y col., 2008, 2014, Chacón y col., 2012, Pascal 2008, Nirav 2008), solo se consideran los mecanismos de toma de decisiones del tipo supervisor. En esta sección describiremos como se realiza la planificación de una Empresa Holónica a partir del conoci-

miento del Producto, el modelo del proceso y el estado de los recursos, sin comprometer la forma clásica de como se hace la planificación tal y como se describió en la sección (2). (Ver Fig.5)

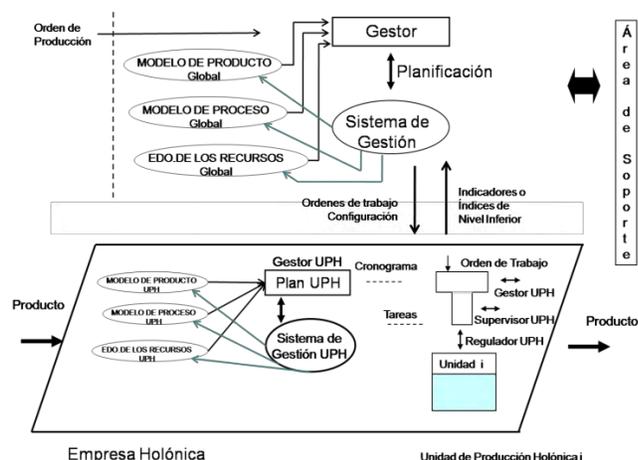


Fig. 5. Planificación en Empresas Holónicas

En el caso de Empresas Holónicas (Unidades Holónicas de Producción) han sido varias las referencias sobre cómo hacer sistemas reconfigurables que usan planificación (Nirav 2008), así como de infraestructura y aplicaciones que permiten usar el concepto holónico tanto para supervisión como para planificación (Chacon y col., 2015). En nuestro caso consideramos a la planificación como aquella entidad capas de, a partir de los modelos parciales descritos en la sección (3), Establecer planificación a u solo paso. Esto se logra por definir la partición según la competencia de cada uno de los componentes (Unidades) de la empresa, a los cuales se asumen autónomos cooperantes. Así el gestor de EH con la orden de producción, toma el modelo de producto global y determina cuales unidades son las requeridas para producir la orden y en que proporciones hay que hacerlo (receta), esta se proyecta en el modelo de proceso global y se determina la configuración del proceso (secuencia, tiempo, parámetros) y se establecen las ordenes de trabajo para cada unidad. Con la configuración obtenida se genera el coordinador (supervisor) respectivo. Una vez que la orden de trabajo llega a la Unidad se repite el proceso antes descrito para la EH en UPH, ver Fig. 5. Esto es cada gestor de UPH, con la orden de trabajo, toma el modelo de producto local y determina cuales son los equipos requeridos y en que proporciones hay que hacerlo (receta local), esta se proyecta en el modelo de proceso local y se determina la configuración de la unidad (secuencia, tiempo, parámetros) y se establecen las consignas para cada equipo. Con esto se determina supervisor/controladores (parámetros) de la unidad para la orden establecida en espera de la ventana de tiempo para empezar a producir con el supervisor/controlador establecidos. Ver Fig. 5.

El aporte en este trabajo es poder proporcionar el estado de los recursos tanto global como local en cada unidad,

esto permite saber la condición actual de la unidad para producir y las ventanas de tiempo, así como de la materia prima e insumos requeridos, tal y como lo muestra la Fig. 5. Con el modelo dinámico de los recursos es posible establecer una planificación validada y confirmada.

Los modelos asociados para poder mantener el estado de la empresa, el estado de las unidades, así como las variables e indicadores requeridos para tal fin se describen a continuación:

- El modelo asociado al sistema de Gestión está compuesto por el modelo imagen del proceso coordinado, en la forma de Sistema a Eventos Discretos (DES), en la alineación establecida $R_{pg_i} = (P_{pg_i}, T_{pg_i}, A_{pg_i}, B_{pg_i})$ en la orden de producción “i” dada. Con lo que se establece un Gestor, en DES, $R_{Gpc_i} = (P_{Gpc_i}, T_{Gpc_i}, A_{Gpc_i}, B_{Gpc_i})$, con cálculo de indicadores $I_{SG} = I_{SG}(R_{pg_i}, R_{Gpc_i})$, asociados al estado del sistema de gestión según el tipo de proceso, que se calculan a partir de la variables de coordinación, producción y proceso.
- El modelo asociado al sistema de coordinación está compuesto por el modelo imagen, en DES, del proceso supervisado en la configuración establecida $R_{psi} = (P_{psi}, T_{psi}, A_{psi}, B_{psi})$ en la alienación “i” dada. Con lo que se establece un coordinador, en DES, $R_{Cpsi} = (P_{Cpsi}, T_{Cpsi}, A_{Cpsi}, B_{Cpsi})$, con cálculo de indicadores $I_{SC} = I_{SC}(R_{psi}, R_{Cpsi})$, asociados al estado del sistema de coordinación según el tipo de proceso, que se calculan a partir de las variables de proceso.

El modelo asociado al sistema de control está compuesto por el modelo del proceso $\dot{x}(t) = f(x(t), u_i(t), X_i, Y_i, U_i), x(0) = x_0, y(t) = h(x(t))$, en el punto de operación (X_i, Y_i, U_i) , con controladores de lazo $u_i(t) = g_i(x, \alpha_i, X_i, Y_i, U_i; t)$ y indicadores $I_{SC} = I_{SC}(x, u)$ asociados al estado del sistema de control según el tipo de proceso, que se calculan a partir de las variables de proceso.

5 Conclusiones

En este trabajo se muestra como realizar la planificación a un paso si se utiliza el enfoque holónico. Este tipo de planificación da la flexibilidad de realizar planificación en línea sin tener que cambiar la estructura establecida según el enfoque.

Se establece la estructura y modelos genéricos dinámicos, para poder realizar la planificación del proceso

productivo, esto es agendar las ordenes de producción, con los referidos coordinadores, controladores y parámetros respectivos, para llevar a cabo la Orden de Producción

Actualmente se está desarrollando una aplicación capaz de implementar este tipo de planificación, la cual se aplicará en algunos procesos productivos

Referencias

- Indriago C, Olivier C, Rakoto N, Chacón E, Castagna P, 2015, Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing, chapter Application of Holonic Paradigm to Hybrid Processes: Case of a Water Treatment Process, pages 39-48. Springer.T
- Duncan McFarlane, Bruce Marett, Gary Elsley, Dennis Jarvis, 1995, Application of holonic methodologies to problem diagnosis in a steel rod mill. In Systems, Man and Cybernetics, 1995. Intelligent Systems for the 21st Century. IEEE International Conference on, volume 1, pages 940-945. IEEE.
- Chacon E, Cardillo J, Zapata G, Chacon R, 2012, Online production Scheduling and re-scheduling in autonomous, intelligent distributed environments, Production Scheduling, ISBN 978-953-307-935-6, January 11, under CC BY 3.0 license. © The Author(s). pag 21-44, <http://www.intechopen.com/books/production-scheduling>.
- Chacon E, Cardillo J, Chacón R, Zapata G, 2012, Planification en ligne pour les systèmes de production distribués : une approche par les systèmes holoniques, 9ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation Bordeaux, MOSIM 2012, France 6-8 Juin.
- Cardillo J, Chacon E, Besembel I, Rivero D, 2008, The holonic production unit: an approach for an architecture of embedded production process, Advances in Robotics, Automation and Control, ISBN 978-953-7619-16-9, Cap16, 301-314. October.
- Cardillo J, Chacon E, 2014, Modelado en espacio de estado de unidades de producción holónicas, XII Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, CIMENICS'2014, Isla de Margarita-Venezuela.
- Nirav N. Chokshi, Duncan C. McFarlane. 2008, A Distributed Coordination Approach to Reconfigurable Process Control. Springer.
- Pascal Blanc, Demongodin I, Pierre Castagna. 2008, A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21(3):315-330.

Chacon Edgar : *Doctor en Ingeniería (Univertité Paul Sabatier, Toulouse – Francé). Integración en procesos de producción basados en enfoque holónco con implementación de modelos, Automatización Industrial, Control Supervisorio. Gestion en producción.*

Cardillo Juan: *Ph.D. en Automatica (Université Paul Sabtier Toulouse-France), Ph. D. en Ciencias Aplicadas (Universidad de Los Andes). Integración en procesos de producción basados en enfoque holónco con implementación de modelos, Automatización Industrial, Control Supervisorio. Correo electrónico: ijuan@ula.ve*

GIUTOO: Generación automática de ontologías desde diagramas de clases UML

Briceño, Miguel; Besembel, Isabel*

GIDyC, Departamento de Computación, Escuela de Sistemas, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

*ibc@ula.ve

Resumen

Actualmente la WWW (World Wide Web) se ha expandido por todo el planeta como la principal red de comunicación e información existente. Para lograr que la Web tenga mayor utilidad, se ha propuesto que la información sea clasificada, dotada de estructura y presentada con una semántica explícita, dando paso a lo que hoy se conoce como Web Semántica, la cual se basa en ontologías que permiten una especificación explícita de una conceptualización con un vocabulario de términos y su significado, cuya expresión se realiza en el lenguaje llamado OWL (Web OntologyLanguage), propuesto por el W3C (World Wide Web Consortium). Asimismo, los diseñadores de aplicaciones de software hacen uso de la programación orientada por objetos y por ello, es común el uso de diagramas de clases en UML 2 (UnifiedModelingLanguage, version 2) para el diseño de dichas aplicaciones. Este documento propone el diseño y desarrollo de una interfaz gráfica para la generación automática de ontologías en OWL a partir de diagramas de clases en UML 2. La interfaz realiza la integración de algunas aplicaciones de software que trabajan por separado en la actualidad, tal es el caso de UML2OWL que permite la conversión de diagramas UML2, estandarizados bajo XML, en el lenguaje OWL y otros componentes que se encargan de la transformación de las relaciones n-arias entre clases en código OWL. El producto final obtenido, la aplicación GIUTOO (Graphical Interface UML TO OWL) es un front-end que permite a sus usuarios crear los diagramas de clases de cualquier sistema, para luego generar la ontología en OWL a partir del diagrama creado. GIUTOO fue validada mediante la realización de un conjunto de pruebas que permitieron comprobar su adecuado desempeño.

ISBN: 978-980-11-1858-9



1 Introducción

En la actualidad, la WWW (*World Wide Web*) se ha extendido de manera global, cada vez es más frecuente el uso de la web como medio de comunicación, información, educación y entretenimiento. Es por esta razón que un sinnúmero de empresas e instituciones publican gran cantidad de información en ella, a fin de atraer a los millones de internautas que la visitan. Para hacer que las búsquedas en la Web sean más acertadas, el lenguaje HTML (*HyperText-MarkupLanguage*) (W3C, 2016), que se utiliza para crear páginas web, incluye la etiqueta META para proporcionar meta data que ayude a los buscadores a encontrar la información acertadamente. Sin embargo, el uso de esta etiqueta se volvió contraproducente, ya que a través de ella se puede incluir cualquier meta-dato que no refiere al contenido de la página donde se utiliza. Como solución a esto, se han utilizado otros lenguajes para proporcionar meta-data, en busca de superar las deficiencias del HTML, tal es el caso de XML (*eXtendedMarkupLanguage*) (OMG, 2003) que permite el intercambio de datos e información estructurada en la Web, proporcionando sintaxis pero careciendo de semántica para el procesamiento del contenido. A partir del XML surgen lenguajes como RDF (*ResourceDescription Framework*) (W3C 2004) con la finalidad de proporcionar semántica a los datos, pero una vez más hay problemas como la ambigüedad en la definición de elementos. Con el fin de unificar todas las visiones surgidas con la creación de cada lenguaje para el procesamiento de información, nace la Web Semántica basada en XML para el intercambio de información, RDF para la definición del contenido a través de recursos y un nuevo lenguaje OWL (*Ontology Web Language*) (W3C, 2012), para definir las propiedades y clases de los recursos. La Web Semántica utiliza el contenido ontológico para describir contenido, significado y relaciones entre los datos, especificando así la data para las máquinas de procesamiento. Las ontologías describen esquemas conceptuales en uno o varios dominios específicos. Estos esquemas expresados en OWL indican entidades, propiedades y relaciones dentro de los elementos que componen dichos esquemas. Esta forma de representar el contenido se encuentra estrechamente ligada a la orientación por objetos, paradigma con el cual se pueden representar grandes sistemas, no solo para la Web, sino también para el mundo real.

Una manera de representar los objetos y su clasificación en un sistema orientado por objetos es a través de los diagramas de clases en UML (*UnifiedModelingLanguage*) (OMG 2015), los cuales clasifican los objetos en clases con sus propiedades (atributos y relaciones con otras clases) además de sus operaciones. En consecuencia, el esquema conceptual de un sistema orientado por objetos se plasma completamente con los diagramas de clases en UML y con ellos es posible crear una ontología para la Web, en el lenguaje OWL, representativa del sistema orientado por objetos modelado a través de dichos diagramas de clases. El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo una

aplicación de software, denominada GIUTOO (*Graphical Interface UML TO OWL*), que genera automáticamente ontologías en el lenguaje OWL a partir de diagramas de clases en UML 2.

El resto del presente artículo está organizado como sigue: la sección 2 está dedicada a la presentación de los conceptos principales para el desarrollo de GIUTOO, la sección 3 describe el modelado de negocio y definición de los requisitos, la sección 4 muestra el diseño y aprovisionamiento de componentes, la sección 5 muestra la implementación y pruebas de GIUTOO y por último, la sección 6 presenta las conclusiones.

2 Esquemas conceptuales y su representación

Un esquema conceptual es un conjunto organizado de conceptos representados en forma gráfica o simbólica.

UML es un lenguaje de modelado de sistemas de software que integra y unifica diferentes notaciones gráficas y un lenguaje formal, además de facilitar la representación y comunicación del conocimiento acerca de un sistema. Entre las 13 notaciones gráficas o diagramas se encuentran los diagramas de clases, que expresan la vista estructural del sistema, con el conjunto de clases de objetos del mismo. Las clases definen las propiedades y el comportamiento de los objetos del sistema, que expresa el esquema conceptual del mismo. La figura 1 presenta un ejemplo de un diagrama de clases UML, donde se observan las clases Persona, Trabajador, Estudiante y Preparador, con sus relaciones de especialización/generalización (Δ), ya que tanto el Trabajador como el Estudiante son Personas y el Preparador que además de ser una Persona es también un Estudiante y un Trabajador.

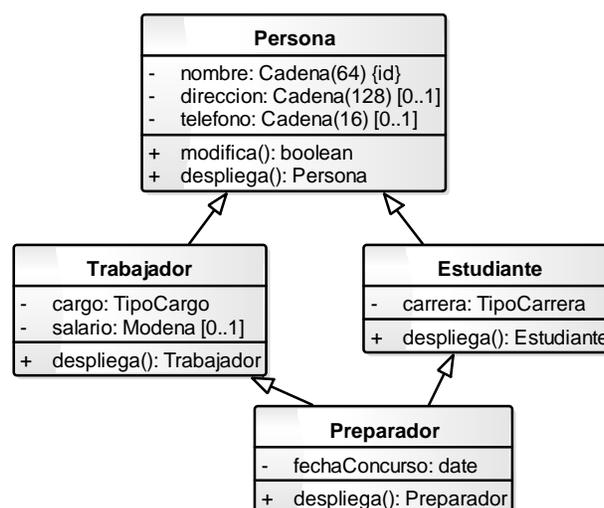


Fig. 1. Ejemplo de diagrama de clases UML.

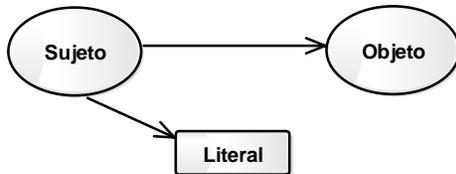
Cada clase está dividida en tres compartimientos, el primero para su nombre, el segundo contiene sus atributos con su tipo de acceso (-), nombre, tipo y multiplicidad; y el tercero indica sus operaciones con tipo de acceso (+), nom-

bre y parámetros entre paréntesis.

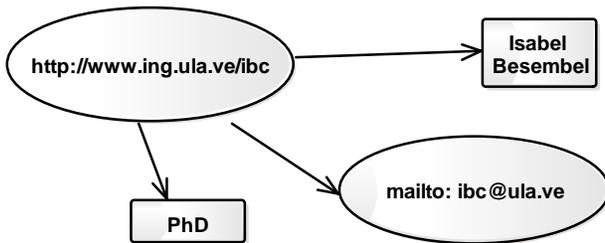
El resto de las relaciones entre clases, que no aparecen en la figura, son la asociación (—), agregación (◊), composición (◆) y dependencia (—→), cada una de las cuales tienen su representación gráfica particular para relacionar dos clases. Asociación es una relación semántica que puede ocurrir entre los objetos de 1 o varias clases asociadas. Ellas pueden ser navegables (terminada en flecha) en una o ambas direcciones. Agregación y composición son tipos de asociación. En la primera, el objeto asociado está compuesto por otros más pequeños sin depender estrictamente de él, mientras que en la segunda los objetos pequeños no pueden existir por sí solos. Por último, las dependencias normalmente se usan cuando una clase depende de otra en el sentido que la usa como atributo o parámetro de alguna operación.

La mayoría de las herramientas de desarrollo de software soportan la generación de código a partir de estos diagramas, facilitando y evitando errores en la elaboración de un proyecto de software (Giberty col., 2005), además de ser posible la generación inversa, es decir del código fuente al diagrama. Entre las herramientas de software libre existentes para UML se encuentra UMLet (UMLet 2016), que soporta UML 2, exporta diagramas en diferentes formatos y se puede utilizar como plug-in de Eclipse (Eclipse 2010).

El lenguaje RDF permite mezclar información estructurada y semi-estructurada, exportada y compartida a través de aplicaciones utilizando un modelo de datos simple, el cual se muestra en la figura 2, junto con un ejemplo del mismo. Este lenguaje provee las facilidades para activar el procesamiento automatizado de los recursos Web y así soportar la web semántica (W3C 2004).



a. Modelo de datos RDF



b. Ejemplo

Fig. 2. Modelo de datos de RDF.

El modelo de datos utilizado por RDF es muy simple y se basa en tripletes del tipo (recurso, propiedad, valor). Cada componente de la triplete está asociado semánticamente como se indica a continuación:

- **Recurso (Sujeto):** elemento que ejecuta la acción del verbo, es el ente que tiene una identidad.

- **Propiedad (Predicado):** función del conjunto de elementos al conjunto de valores, que denota si los elementos cumplen con la propiedad representada por el predicado.
- **Valor (Objeto):** recurso referido por el predicado o un valor literal.

OWL fue creado para utilizar la conexión proporcionada por RDF y extender sus capacidades. Tiene 3 sub-lenguajes, *OWL-Lite* dirigido a los desarrolladores, *OWL-DL* con descripción lógica completa y *OWL-Full* que soporta la expresividad de OWL y la flexibilidad de RDF. El meta-modelo de OWL se presenta en la figura 3, muestra la jerarquía de clases, sin atributos ni operaciones, que refleja como una clase en OWL es un tipo de clase RDF, así como también, las propiedades OWL son un tipo de propiedad RDF. OWL ofrece una amplia semántica para expresar ontologías, la cual, permite definir cardinalidades en propiedades o definir clases con operaciones como unión, intersección, complemento y otras. Entre los elementos del esquema RDF se tienen: `Class`, `rdfs: subclassOf`, `rdf: Property`, `rdfs:subPropertyOf`, `rdfs:domain`, `rdfs:range` Individual. Estos elementos se utilizan para poder soportar la transformación de los elementos de los diagramas de clases UML 2 al *OWL-Full*.

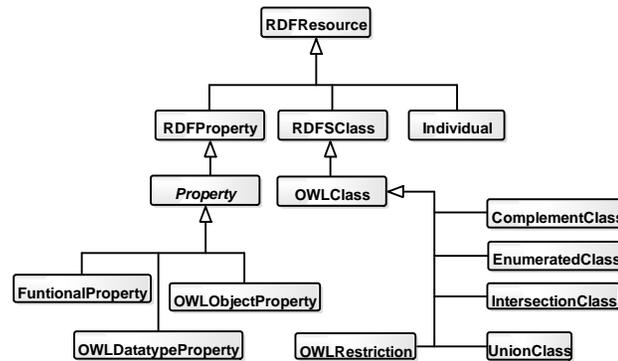


Fig. 3. Meta-modelo OWL (W3C, 2012).

3 Modelado de negocio y definición de requisitos

A continuación, se presentan las dos primeras fases del método *W_White* (Barrios y col., 2009) que se adapta a las necesidades de proyectos cuyo grupo de desarrollo es pequeño (1 ó 2 personas) y provee los pasos necesarios para la integración de componentes, que resulta ideal para el diseño y desarrollo de GIUTOO. Los pasos de este método se pueden observar en la figura 4, donde el título de cada paso indica su fin en el método.

3.1 Modelado de negocio

Luego de la revisión de la documentación del sistema base (Grimaldos 2007) donde recomienda la realización de un sistema de generación automática de ontologías y de las

entrevistas con las personas que estuvieron involucradas en el desarrollo del mismo, se definieron las actividades para la consecución de la ontología en OWL, las cuales se observan en la figura 5. Cada actividad del diagrama es una actividad compuesta (⌘) que tiene su propio diagrama de actividades. En particular, la última de ellas se observa en la figura 6, donde se ven las acciones para generar la ontología en OWL con el componente UML2OWL.

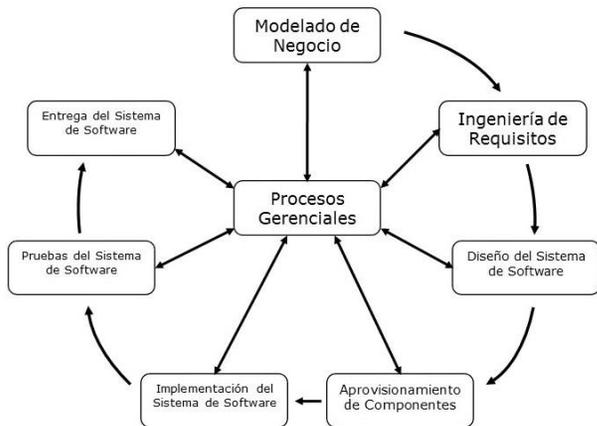


Fig. 4. Fases del método W_White.

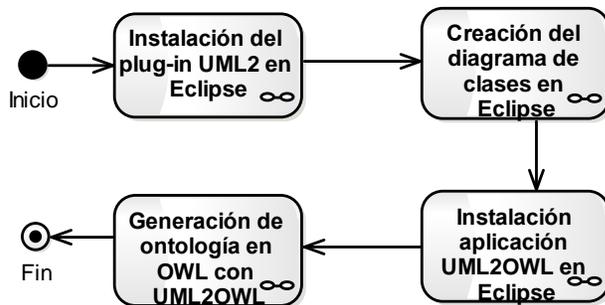


Fig. 5. Diagrama de actividades UML 2.

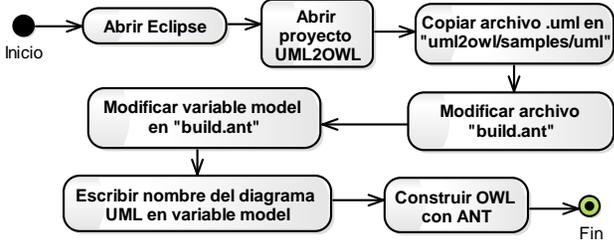


Fig. 6. Diagrama de actividades UML 2.

3.2 Definición de requisitos

Luego del análisis de los procesos de negocio se enunciaron los requisitos mostrados en la tabla 1, con su funcionalidad (funcionales: F y no funcionales: NF), tipo y prioridad.

Como parte de esta fase del método, se desarrollan los

casos de uso UML para expresar el comportamiento del sistema según los requisitos enunciados y en el caso de GIUTOO, la figura 7 muestra el diagrama de casos de uso principal. Cada caso de uso (○) tiene sus diagramas de caso de uso o de actividades hasta llegar al nivel deseado de especificación que permita realizar la siguiente fase. Un caso de uso extiende otro al contener parte de la funcionalidad del primero, la cual es invocada condicionalmente. Además la figura muestra el actor principal de GIUTOO que es el desarrollador de diagramas de clases.

Tabla 1. Requisitos de GIUTOO.

Requisito	Funcionalidad	Tipo	Prioridad
Diseño de la aplicación para diagramas UML2	F	Funcionalidad	Alta
Generación de ontologías OWL a partir del diagrama de clases	NF	Funcionalidad	Alta
Abrir, modificar y guardar diagramas de clases	F	Accesibilidad	Alta
Abrir y visualizar archivos OWL	F	Accesibilidad	Alta
Cumplir con las reglas de diseño de diagramas de clases	NF	Funcionalidad	Alta
Cumplir el estándar OWL Full	NF	Calidad	Media
Integrar la aplicación UML2OWL	NF	Calidad	Media
Integrar la aplicación para el manejo de relaciones n-arias	NF	Configuración	Baja
Funcionamiento bajo plataforma Linux	F	Funcionalidad y seguridad	Media
Fácil acceso y manipulación por los usuarios	F	Uso y factores humanos	Baja
Funcionamiento en PC con capacidad gráfica mínima de 32MB	F	Hardware	Baja
Manejable con teclado y cursor del ratón	F	Hardware	Alta

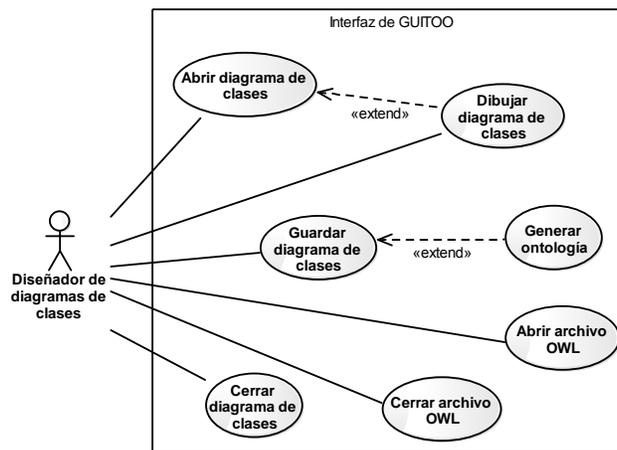


Fig. 7. Diagrama de casos de uso de GIUTOO.

4 Diseño de software y aprovisionamiento de componentes

En esta sección se presenta sucintamente el diseño de GIUTOO, donde juega un papel fundamental el aprovisionamiento de componentes.

4.1 Diseño del sistema de software

Como primer paso en esta fase se decide la arquitectura de GIUTOO, que es de tres capas, a saber:

- Capa de aplicación: define la interfaz de usuario dividida en módulos y mostrada en la figura 8.
- Capa de lógica: contiene el sistema orientado por objetos que soporta GIUTOO, donde se reciben los mensajes de la interfaz, se validan las operaciones y se envían los mensajes de respuesta, una vez realizada la operación solicitada, además de comunicarse con la capa de datos para almacenar o recuperar datos.
- Capa de datos: contiene los recipientes XML con los diagramas de clases UML y OWL.

Asimismo, se define el diagrama de clases inicial de GIUTOO, el cual resultó ser el diagrama de clases definitivo, el cual se presenta en la figura 9. En ella se observan las principales clases y sus relaciones. En particular resalta la clase TipoRelacion, que contiene el estereotipo <<enumeration>> que indica que esta clase se utiliza para almacenar los tipos de relación del UML y que es el tipo de dato del atributo tipoRelacion de la clase Relacion. La clase IDiagramaDeClases es una clase interfaz por lo que solo contiene operaciones para la interacción entre la interfaz de usuario y las operaciones de la clase DiagramaDeClases.

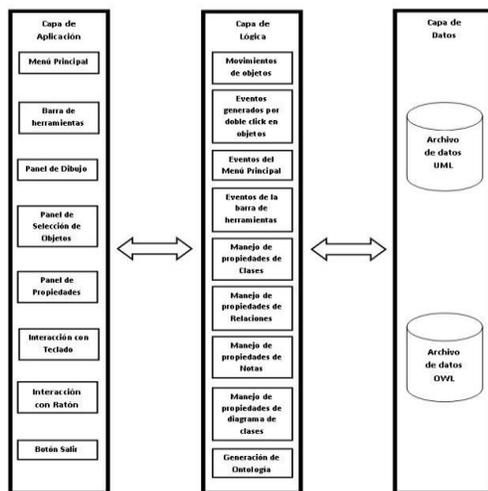


Fig. 8. Arquitectura de GIUTOO.

Luego de lo anterior, esta fase incluye la descripción del funcionamiento de GIUTOO según los casos de uso y las clases definidas. Esto se hizo por medio de los diagramas de secuencia UML que muestran la interacción entre los objetos de las clases y entre los usuarios y GIUTOO, los

cuales no se incluyen por falta de espacio.

Se termina esta fase con el diseño de la interfaz de usuario, el cual puede hacerse por medio de un prototipo de pantallas con su diagrama jerárquico. Un ejemplo de la interfaz y la jerarquía se presentan en la figura 10.

4.2 Aprovisionamiento de componentes

En esta fase se realizó una búsqueda y estudio de los diferentes componentes existentes en Internet para la manipulación de los diagramas de clases, con la finalidad de adaptarlos para ayudar al desarrollo de GIUTOO.

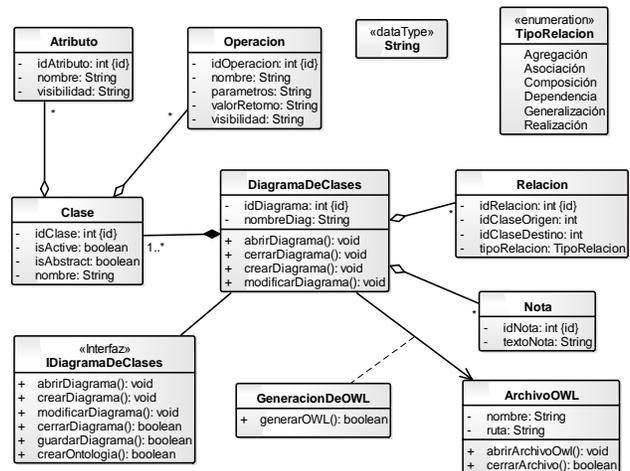


Fig. 9. Diagrama de clases de GIUTOO.

Entre todas las herramientas disponibles se seleccionó UMLet por ser de código abierto, soportar UML 2 con relaciones n-arias entre clases, ser desarrollada en Java y cuyo código es extensible gracias a su modularidad y documentación. Además, esta herramienta genera un archivo XML con la descripción del diagrama de clases perfectamente extensible para desarrollar la ontología en OWL a partir del mismo.

Cabe destacar, que para el desarrollo de las ontologías se decide utilizar la aplicación de software UML2OWL (Hillairet, 2007) como un componente adaptado a la herramienta UMLet, pues soporta OWL-Full y cuenta con una interfaz en Java compatible con UMLet (Hillairet, 2010).

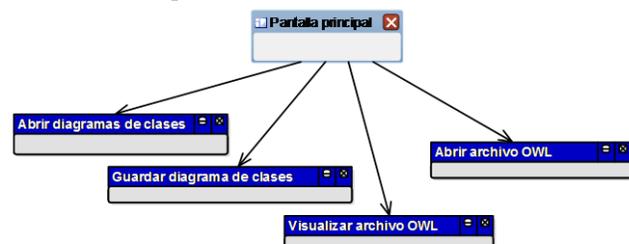


Fig. 10. Interfaz gráfica de GIUTOO y jerarquía de despliegues.

Estos componentes se adaptaron para tener una comu-

nicación correcta entre sus interfaces. La figura 11 muestra el diagrama de componentes UML de UMLet.

De todos estos componentes se seleccionaron los indicados para integrar y adaptar en GIUTOO. Estos componentes son:

- Entity: componente que describe las características y operaciones básicas de una entidad, es la super-clase de Class, Note y Relation. Debe ser modificado para la transformación del archivo generado por UMLet, al archivo de diagrama de clase utilizado por UML2OWL.
- StandaloneMenuListener: encargado de proporcionar a la interfaz de usuario el acceso a los métodos de manipulación de diagramas y donde se debe agregar la opción de generación de la ontología en OWL.
- DiagramFileHandler: soporta las funciones de abrir, guardar y transformar diagramas UML 2. Posee los métodos para integrar el componente UML2OWL.
- DiagramHandler: interfaz del componente DiagramFileHandler donde se debe agregar el método para GIUTOO.

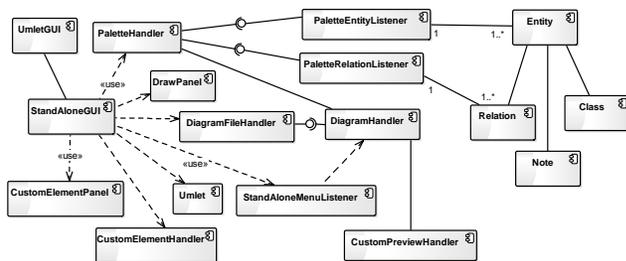


Fig. 11. Diagrama de componentes de UMLet.

5 Implementación y pruebas de GIUTOO

La implementación de GIUTOO conlleva la modificación de los componentes indicados anteriormente, lo cual define el nuevo diagrama de componentes mostrado en la figura 12. El resto de los componentes de UMLet soportan la interfaz gráfica de GIUTOO que ofrece las opciones de transformar los diagramas de clases UML a ontologías OWL y de visualizar dichas ontologías.

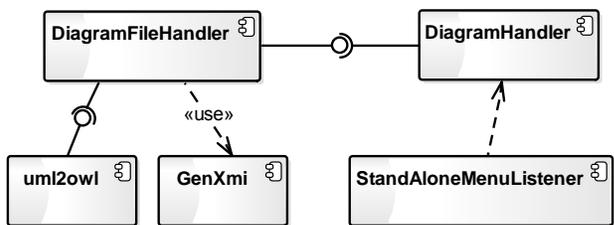


Fig. 12. Diagrama de componentes de GIUTOO.

La figura 13 presenta el encabezado de la interfaz de usuario de GIUTOO con el menú de la opción Archivo, donde se puede:

- Nuevo: instancia un nuevo documento de diagrama de UMLet

- Abrir: abre un diagrama existente
- Guardar y Guardar como: almacenan los diagramas en la extensión UMLet
- Generar OWL: permite transformar diagramas de clases UML 2 a ontologías en OWL (extensión de UMLet)
- Abrir OWL: abre el archivo con la ontología OWL (extensión de UMLet)
- Opciones: permite cambiar la apariencia gráfica y tamaño del texto en los diagramas
- Imprimir: permite imprimir el diagrama abierto



Fig. 13. Menú de la opción Archivo de GIUTOO.

La interfaz de GIUTOO cuenta con un panel de dibujo donde se agregan los elementos de los distintos diagramas (véase la figura 14). A la derecha se observa la paleta con los objetos del diagrama actual y en la parte inferior derecha se colocan las propiedades de los mismos.

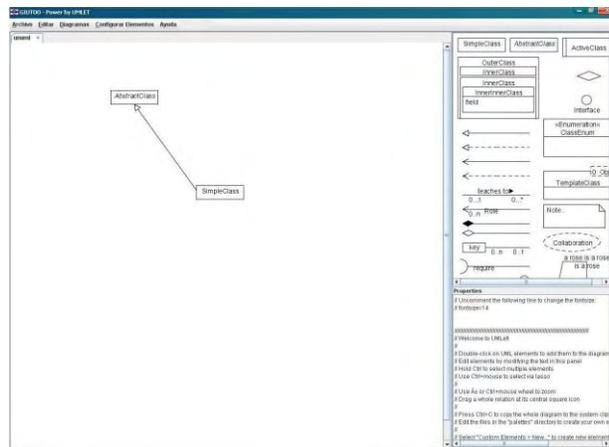


Fig. 14. Interfaz de usuario de GIUTOO.

La generación de una ontología en OWL desde un diagrama de clases UML 2 se realiza en GIUTOO con el componente UML2OWL, que recibe un archivo con extensión .uml, el cual contiene la descripción en XML de un diagrama de clases UML 2 en versión de Eclipse. GIUTOO genera un archivo XML que contiene la descripción del diagrama de clases. Este XML es distinto al utilizado por Eclipse, es por ello que se decide desarrollar un componente que permita convertir el XML generado por GIUTOO al XML con el cual Eclipse describe un diagrama de clases. Este componente llamado GenXmi, proporciona los métodos necesarios para generar dicho XML. Para hacer la transformación se creó el método umletToXmi () dentro del componente DiagramFileHandler. Una vez creado el archivo, se

procede a utilizar el componente uml2owl. En esta etapa el método genOwl del componente DiagramFileHandler, se encarga de buscar la ruta del archivo con extensión .uml que contiene el actual diagrama de clases a transformar y la guarda en el arreglo file de tipo *String*. Luego se crea una instancia de la clase UML2OWL, desde la cual se procede a realizar la transformación llamando al método execute, el cual recibe un tipo de dato UMLResource que previamente ha sido iniciado con la ruta del diagrama UML almacenada en file. El método execute retorna un tipo de dato OWLResource, con el modelo OWL equivalente al diagrama de clases UML 2. Este modelo es almacenado en un archivo con extensión .owl en la ruta aportada por el usuario al principio de la transformación. Como último paso, el código OWL creado se muestra en una ventana de visualización al usuario haciendo uso del componente OwlFileWindow en la interfaz de GIUTOO.

La figura 15 muestra el diagrama de vistas de interacción UML 2 donde se indican como obtener la ruta del archivo .owl, el uso de uml2owl y el almacenamiento del archivo resultante .owl. El primero y el último por medio de diagramas de secuencia UML 2.

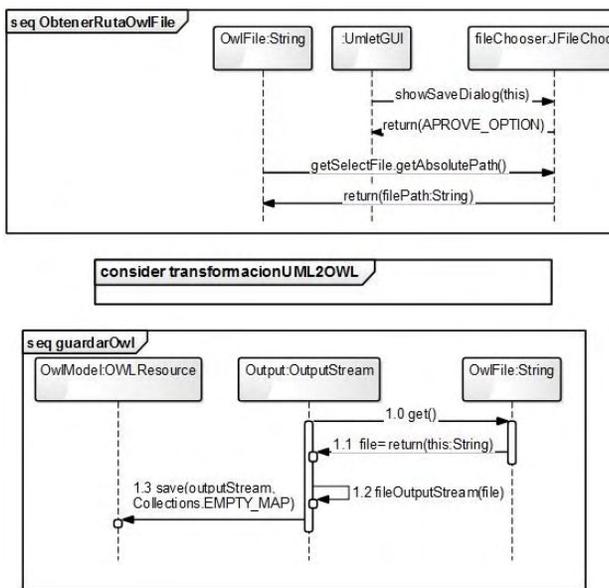


Fig. 15. Diagrama de vistas de interacción para generar la ontología.

Las relaciones n-arias, posible en los diagramas de clases UML, no están soportadas en OWL y por ello se decide transformar estas relaciones n-arias a las relaciones binarias equivalentes entre las clases involucradas con el método genAsocSimple del componente GenXmi, lo que hace innecesario el requisito de integración de la tabla 1.

Las pruebas de una aplicación de software permiten verificar y revelar la calidad del producto obtenido, en este caso GIUTOO. Se realizaron pruebas de caja negra, funcionales, de instalación y de recuperación. Las de caja negra consisten en demostrar que cada una de las funciones y métodos implantados y adaptados son operacionales, desconociendo cómo funcionan internamente. La tabla 2 ejemplifica los resultados obtenidos en el componente DiagramFileHandler.

Las pruebas funcionales comprueban el funcionamiento y cumplimiento de los requisitos de GIUTOO. Un ejemplo se observa en la figura 16 donde se realizó el diagrama de clases para un sistema de compras, con el cual fue generada la ontología cuya sección inicial se muestra en la figura 17. GIUTOO ha sido instalada y probada satisfactoriamente en los sistemas operativos siguientes: Windows XP Profesional con Service Pack 3 y Ubuntu 9.04 kernel 2.6.28-11-generic. GIUTOO no está en capacidad de realizar ninguna recuperación de los diagramas de clases que no hayan sido guardados previamente (Briceño 2010).

6 Conclusiones

Este trabajo muestra el diseño de una aplicación gráfica que permite generar ontologías en OWL a partir de diagramas de clases en UML 2. En aras de asegurar el éxito del desarrollo de GIUTOO, se utilizó el método *W_White*, que proporcionó las pautas a seguir, dividiendo el diseño y desarrollo de GIUTOO en fases que describen en detalle cada proceso y actividad. La primera fase de descripción del sistema de negocio, permitió conocer el funcionamiento del sistema desarrollado anteriormente para la generación de ontologías. Los resultados del análisis describieron la necesidad de seguir las recomendaciones allí expresadas.

Tabla 2. Pruebas de caja negra para GIUTOO.

Operación	Prueba a realizar	Resultado esperado	Resultado obtenido
generateElementTree(Document, List<Entity>, Element, Group)	Comprobar la modificación del parámetro Document	-Éxito: Document con la información del diagrama de clases en XML -Error: Document en su estado inicial	Éxito: Document contiene el diagrama de clases en XML
umlToXmi()	Comprobar la transformación del XML de GIUTOO al XML de UML2OWL	-Éxito: la cadena con el XML requerido por UML2OWL -Error: Mensaje de excepción "Error al guardar XML"	Éxito: la cadena obtenida es la requerida
doSaveAsUml(String)	Comprobar que se guarda un archivo .uml	-Éxito: TRUE si el archivo fue creado -Error: FALSE si el archivo no pudo crearse	Éxito: TRUE el archivo se creó
genOwl()	Comprobar que se ha creado un archivo con una ontología OWL	-Éxito: TRUE si el archivo OWL fue creado -Error: FALSE si el archivo OWL no pudo crearse	Éxito: TRUE el archivo OWL se creó
openOwl()	-Comprobar la apertura del manejador de archivos del sistema. -Comprobar la apertura del archivo OWL seleccionado	-Éxito: Visualización del manejador de archivos del sistema. Error: Mensaje de excepción indicando: "Error al abrir archivo". -Éxito: Visualización de una ventana con el código OWL del archivo abierto. Error: Mensaje de excepción indicando: "Error al abrir ontología"	-Éxito: se visualiza el manejador de archivos del sistema -Éxito: se visualiza la ventana con el código OWL del archivo abierto

OMG, 2015, OMG Unified Modeling Language, version 2.5, <http://www.omg.org/spec/UML/2.5/>

OMG, 2003, XML/Valuetype Language Mapping Specification, version 1.1, <http://www.omg.org/spec/ODM/1.1/>

UMLet, 2016, UMLet 14.2 Free UML Tool for Fast UML Diagrams, <http://www.umlet.com>

W3C, 2016, HTML living standard, <http://whatwg.org/pdf>

W3C, 2004, RDF Primer. W3C Recommendation 10 February 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210/>

W3C 2012, OWL 2 Web Ontology Language, <http://www.w3.org/TR/2012/REC-owl2-syntax-20121211>

Briceño, Miguel: *Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Los Andes. Ingeniero en 4Geeks. Correo electrónico: miguelpacheco004@hotmail.com*

Besembel, Isabel: *Ph.D. en Estudios de Computación en la Universidad de Leeds, Reino Unido. Profesora Titular del Departamento de Computación de EISULA y miembro fundador del GIDyC.*

Capítulo 50

Evaluación de fósforo en quesos pasta blanda obtenidos a partir de leches de distintas razas de ganado, sometidas a la acción del cloruro de calcio, en invierno

González, Aura Marina^{1*}; Quiñones, Ana²; Fernández, Antonio¹; Gómez Ruben; Izaguirre, Cesar³; Lucena, Haidee²; Pérez, Dario⁴; Borregales, Carmen⁴

¹Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

²Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

³Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y biotecnología de Alimentos Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

⁴PAU Lácteos Santa Rosa A.C Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

*gonzaurita@gmail.com

Resumen

En todas las plantas de elaboración de quesos, resulta sumamente útil evaluar los macroelementos presentes en sus productos, el fósforo, es el segundo mineral más abundante del cuerpo. El fósforo, está estrechamente relacionado con la coagulación de la leche, ya que la aptitud de la leche para la coagulación no está ligada únicamente a la concentración en calcio, depende también del contenido en fosfato cálcico coloidal (micelar). De allí surge la importancia de la determinación de este macroelemento en los quesos de pasta blanda elaborados en la productora de Lácteos Universitaria Santa Rosa C.A. En esta investigación precursora, se analizó el comportamiento del fósforo en quesos, en sus distintas etapas de producción, elaborados a partir de leches de distintas razas de ganado lechero, (Jersey, Holstein, Mestiza y una mezcla de todas las leches), se adicionó diferentes concentraciones de cloruro de calcio entre 0 hasta 20 gramos de cloruro de calcio por cada 100 litros de leche ($\text{CaCl}_2/100 \text{ L}$), se utilizó como método de análisis la espectroscopia colorimétrica UV-visible con azul de ácido ascórbico en un espectrofotómetro SpectronicGenesys 20 a una longitud de onda de 690 nm. Se comprobó que los quesos elaborados con las leches de razas jersey y mestiza aumentan su contenido en fosforo al adicionar CaCl_2 y los provenientes de holstein y mezcla no se ven tan afectados. Existe dependencia estadística y altamente significativa entre la raza y el tratamiento, la raza y el paso de elaboración, tratamiento y el paso, y entre todos, esto debido a que la concentración de fosforo depende entre otras cosas de la raza de ganado lechero que se utiliza para la elaboración del queso, y el tratamiento o cantidad de cloruro de calcio adicionado.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

El queso pasta blanda es un alimento sólido que se obtiene por maduración de la cuajada de la leche una vez eliminado el suero; sus diferentes variedades dependen del origen de la leche empleada, de los métodos de elaboración y del grado de madurez alcanzado. El queso en estudio es el Bonsalut, es un queso de pasta blanda, pasteurizado y de color amarillo claro con bajo contenido de grasa (2.6-2.8%), obtenido por coagulación enzimática y acidificación láctica; en el trabajo se realiza una evaluación de la concentración del fósforo presente en las distintas etapas de elaboración y su relación con las diferentes razas de ordeño (Holstein, Jersey, mestiza (70 % Holstein, 30 % Jersey) y una mezcla de todas las leches), añadiendo cantidades variables en concentraciones de cloruro de calcio (CaCl_2).

Basados en la importancia nutricional y enfocados particularmente en un macronutriente de sumo valor como es el fósforo (Ramírez 2009; Cali 2007) y su relación con el rendimiento en la producción de quesos, entendiendo que este no sólo nos ayuda a fortalecer nuestro cerebro y memoria, pues diversos estudios han demostrado que además nos aporta innumerables beneficios, junto con intervenir en numerosas funciones de nuestro organismo, está presente en todas las células y fluidos, concentrándose principalmente en nuestros dientes y huesos, constituyendo el 1% de nuestro peso corporal, es por ello que surge la necesidad de determinar la concentración de este importante macronutriente, a fin de conocer bajo cuales condiciones se encuentra presente y en la proporción nutricionalmente aceptable el fósforo en los quesos pasta blanda, refiriéndonos a condiciones como la variación de la concentración de cloruro de calcio, en las distintas etapas de elaboración del queso y en las diferentes razas de ganado que suministra las leches para tal fin, pues con ello se logrará obtener con certeza un producto de óptima calidad nutricional, con el mejor rendimiento de producción y que además cumpla con las normativas vigentes, que dé a la empresa mayor realce en cuanto a la calidad de sus productos se refiere.

La investigación y el proyecto se realizaron, gracias al aporte de Lácteos Santa Rosa, Productora de Alimentos Universitaria C.A. ubicada en La Hechicera, sector Santa Rosa, Mérida Venezuela, en conjunto con el Laboratorio de Análisis Instrumental, adscrito a la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Los Andes. El proyecto encuentra su justificación en la necesidad de establecer las condiciones en las cuales los quesos de pasta blanda producidos cuenten con un contenido óptimo de fósforo, generando un mayor rendimiento en su producción, además este producto cumpla con las normativas nutricionales exigidas (Badui 2006), aumente su calidad, lo cual se resume en mejoras de tipo económico y altos estándares de calidad para la productora de lácteos universitaria.

Se determinó la cantidad de fósforo presente en las distintas etapas de elaboración de quesos pasta blanda,

producidos por Lácteos San Rosa, variando la concentración de cloruro de calcio añadido, cuando la leche es aportada por las razas de ganado lechero: Jersey, Holstein, Mestiza y una mezcla combinación de leches de todas la anteriores. Para determinar el fósforo, se utilizó la técnica de Espectrofotometría Colorimétrica UV visible, por el método de azul del ácido ascórbico.

2 Marco Teórico

La leche, es el producto íntegro del ordeño complejo de una hembra sana, bien alimentada y no fatigada, ha de ser recogida higiénicamente y no debe contener calostro. Starovičová y col., (2015). La leche fresca de vaca deberá presentar aspecto normal, limpia y libre de calostro, preservadores, antibióticos, colorantes, materias extrañas y sabores, olores objetables o extraños. La leche se obtendrá de vacas acreditadas como sanas es decir libre de toda enfermedad infecto-contagiosa, tales como tuberculosis, brucelosis y mastitis. A partir del momento de obtención la leche se le someterá a filtración y enfriamiento inmediato a 4°C.

Desde el punto de vista sensorial, se puede caracterizar como un líquido blanco y opaco, un poco más pesada que el agua y ligeramente untuoso, más o menos amarillento según el contenido de carotenos de la materia grasa, de sabor dulce y agradable ligeramente azucarado y de olor poco marcado pero particular. Starovičová y col., (2015).

Para obtener quesos de buena calidad es indispensable que la materia prima, sea de buena calidad. La leche contiene cientos de tipos de proteínas, algunas en cantidades muy pequeñas, tradicionalmente las proteínas de leche fueron clasificadas en caseínas, proteínas de suero y proteínas menores. Las proteínas presentan glóbulos de grasa en la superficie y enzimas pertenecientes al grupo de proteínas menores.

Las Caseínas están presentes en toda leche animal, incluyendo leche humana. En leche de vaca casi el 80% de las proteínas son caseínas, o alrededor de 26 g/L de la leche. Las Caseínas son divididas en cuatro sub-grupos caseína α_1 -, α_2 -, β - y K. Las cuatro son muy heterogéneas y consisten de cada 2-8 variantes de genes diferentes. Estas variantes difieren entre sí solo por unos pocos aminoácidos. Caseínas α - y β tienen en común que los aminoácidos están esterificados por ácido fosfórico. Este ácido fosfórico une calcio (que es abundante en leche) para formar enlaces entre y dentro de las moléculas. Esto hace que las caseínas fácilmente formen varios polímeros con el mismo o diferente tipo de caseínas. (Scott 1991).

Debido a la abundancia de grupos fosfatos y sitios hidrofóbicos en la molécula de caseína, las moléculas de polímeros formados por la caseína son muy especiales y estables. Los polímeros son construidos por cientos y miles de moléculas individuales y forman una solución coloidal que da el color blanco de la leche. Estas moléculas complejas son conocidas como micelas de caseínas, Scott, (1991).

Las Micelas de caseína consisten de un complejo de sub-micelas de un diámetro de 10 a 15 nm. Un tamaño medio de micelas consiste de alrededor de 400 a 500 sub-micelas y pueden ser de un largo de 0.4 micrometros (0.0004 mm).(Alais 2003)

El fosfato de calcio y las interacciones hidrofóbicas entre las sub-micelas son responsables de la estabilidad de las micelas de caseína. Las partes hidrofílicas de k-caseína contienen grupos de carbohidratos que se proyectan desde el exterior del complejo de micelas lo más importante es que estabilizan las micelas impidiendo la agregación (Veisseyre1988, Scott 1991)

La importancia de K-caseína y estos grupos de carbohidratos se hace evidente en la fabricación de queso. La renina utilizada en la primera parte del proceso de fabricación de quesos desprende el carbohidrato de la superficie de las micelas de -caseína. Así las micelas perderán su solubilidad y comienzan a agregarse para formar un cuajo.

A baja temperatura la estructura de las micelas es debilitada porque las cadenas de K-caseína comienzan a disociarse, además de que el hidrofosfato de calcio deja la estructura de la micela. La explicación de este fenómeno es que la β -caseína es la caseína más hidrofóbica y las interacciones hidrofóbicas son debilitadas cuando la temperatura es disminuida. La hidrólisis de β - caseína a K-caseína y la proteasa-peptona (que rompen la estructura) significan una menor productividad de queso debido a que las fracciones de proteasa-peptona se pierden en el suero según Starovičová y col., (2015), Formigony col., (2010).

Tornadijo y col., (1998), Estudiaron la aptitud de la leche para ser coagulada, esta investigación generó varias conclusiones, una de ellas es que la coagulación de la leche no está ligada únicamente a la concentración en calcio, depende también del contenido en fosfato cálcico coloidal (micelar), mientras más elevado sea el fosfato cálcico en la leche, el tiempo de coagulación es más corto, el gel más firme y se presta mejor al desuerado.

El fósforo (P) quien está íntimamente ligado con esta investigación pertenece a los minerales y está presente en el cuerpo humano en cantidades que llegan a los 800 g en un adulto. El 85% del P en el cuerpo se encuentra en huesos y dientes, principalmente en forma de hidroxapatita, con una relación en peso de 1:2 con el calcio (Ca). El resto del P se distribuye en los músculos, hígado, intestino, piel, tejido nervioso y otros órganos y tejidos, principalmente en forma de ésteres orgánicos. En los fluidos biológicos el fósforo está presente como ion fosfato. (Badui 1993).

El método de análisis utilizado para el desarrollo de la investigación en la evaluación del P, es la espectrofotometría UV-visible, la cual es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas, la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este

tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma.(Skoog1992).

Determinación de fosfatos por colorimetría (método azul del ácido ascórbico). Este método se aplica a la determinación de fósforo inorgánico u ortofosfatos. Se basa en la reacción en medio ácido entre el anión fosfato y el molibdato amónico en presencia de tartrato de Potasio y Estaño, para generar ácido fosfomolibdico el cual es reducido mediante ácido ascórbico generando una coloración azul debida al molibdato y susceptible de determinación colorimétrica(Berenblumy col., 1938).

3 Procedimiento Experimental

3.1 Tratamiento de las muestras

Los quesos fueron elaborados en laProductora de Alimentos Universitaria Lácteos Santa Rosa A.C de la Universidad de Los Andes, según procedimiento deBorregales s/f, se signaron con número cada uno de los pasos de producción de queso.En total fueron 15 muestras de queso, para cada tratamiento y se realizó para cuatro razas diferentes

- 1: queso después del auto prensado. (3 quesos)
- Paso 2: después de la salmuera. (3 quesos)
- Paso 3: a los 5 días de maduración. (3 quesos)
- Paso 4: a los 10 días de maduración. (3 quesos)
- Paso 5: a los 15 días de maduración. (3 quesos)

Se estableció un montaje experimental para la toma de muestras basado en la Norma COVENIN 9383-1983, se aseguró obtener muestras representativas, para la ejecución de un estudio estadísticamente aceptable. Se procedió a tomar las muestras de cada uno de los quesos, inicialmente fueron realizadas pruebas a fin de determinar la zona específica del quesoque representaba los parámetros a estudiar, y de esta manera se logró determinar que, cerca del centro de la pieza de queso, son más confiables los valores medidos, permitiendo validar el método.Se muestreo, se rallaron yse integraron varias porciones de un mismo queso.

De cada una de estas muestras se pesaron aproximadamente 3 gramos, balanza analítica (DinverInstrumentCompany modelo AA160),en crisoles, que luego fueron sometidos a una calcinación por vía seca.

Una vez obtenidas las cenizas de la calcinación, se procedió a disolverlas con ácido clorhídrico al 37% de pureza,(Rieldel de Haën),filtradas en papel filtro, con embudos, en elermeyers de 50 mL, posteriormente se enrazaron con agua destilada, y finalmente se envasaron y rotularon de manera adecuada para su análisis.

3.2 Análisis del fósforo

El análisis para fósforo se realizó en un espectrofotómetro, marca Spectronic 20 Genesys, modelo 4001/4, haciendo uso del método colorimétrico con azul de ácido ascórbico.

Se prepararon todos los reactivos requeridos (40 mL de ácido sulfúrico al 5N, 12 mL de solución de molibdato de amonio al 4%, 4 mL de ácido Emético y 24 mL de ácido ascórbico) para preparar el reactivo global necesario. Todos los reactivos son de grado analítico.

3.3. Preparación de Solución Patrón

Solución Patrón de 200 ppm: se preparó pesando 0,4358 gramos de K_2HPO_4 anhidro y diluyéndolos en un balón aforado de 500 mL. La solución Patrón de 50 ppm, fue realizada a dilución correspondiente.

Para la muestra de quesos a analizar, se midieron 1,5 mL de la solución queso (muestra digerida almacenada), y se procedió a diluir en un balón de 100 mL. Seguidamente se tomó 1 mL de esta disolución y se añadió en un balón aforado de 25 mL, adicionando 4 mL de la mezcla de reactivos preparada anteriormente y llevando con agua destilada a volumen final.

Una vez preparadas las muestras a analizar y la curva patrón, se debió esperar 20 min para desarrollar el color, comenzar a hacer los análisis respectivos a 690 nm.

El espectrofotómetro reportó su señal y se obtuvo un valor de absorbancia, el cual fue comparado con las absorbancias de la curva de calibración, cuya concentración era exactamente conocida, los análisis se realizaron por duplicado, a fin de obtener suficiente data, con la que fue posible aplicar la herramienta estadística de análisis de datos SPSS21, y lograrse establecer los parámetros que influyen en la concentración de fósforo en las muestras analizadas.

4 Discusión y Resultados

Para la raza lechera Holstein, el comportamiento de la concentración de fósforo a los distintos tratamientos o adiciones de $CaCl_2$, en cada una de las etapas del proceso de elaboración y maduración de los quesos se aprecia en la figura 1, podemos observar, que existen diferencias en el contenido de P en los pasos de producción y con los tratamientos aplicados. Se observa para 15 días de maduración que los valores de P están en el rango de los aportados como referencia según INN, 1999 (500 a 610 mg de fósforo por cada 100 g de queso), para quesos pasta blanda. La concentración más elevada en fósforo se obtiene en el tratamiento con adición de 10 g de $CaCl_2/100L$ de leche, hasta el paso cuatro o 10 días de maduración, se presenta una excepción en el paso 5 o 15 días de maduración, donde desciende un poco el contenido de fósforo, pero el valor de P está en el referencial.

En la figura 2, se observa para la raza Jersey pocos cambios en la concentración de fósforo, según la adición de

$CaCl_2$, aparentemente la adición de esta sal ni el paso de producción y maduración afectan la concentración de fósforo.

Para esta raza lechera Jersey el valor más cercano al de referencia en concentración de fósforo, se obtiene en el tratamiento de 15 g de $CaCl_2$ por cada 100 L de leche, en el paso 5 o con 15 días de maduración.

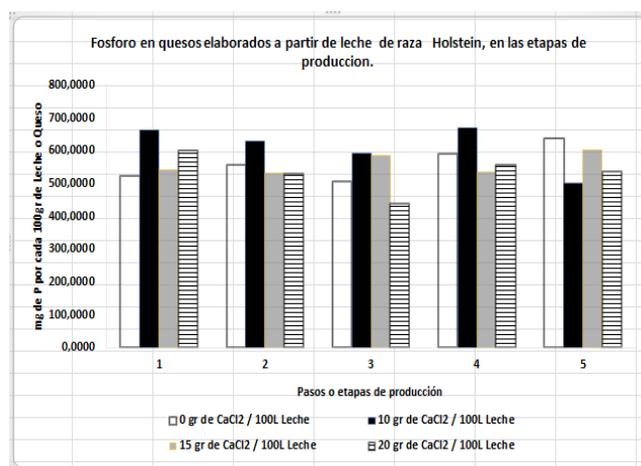


Figura 1. Variación en la concentración de fósforo en las distintas etapas de producción de quesos pasta blanda (pasos): (1) Queso después del auto prensado, (2) Queso después de la salmuera, (3) Queso a los 5 días de maduración, (4) Queso a los 10 días de maduración, (5) Queso a las 15 días de maduración. En la raza Holstein.

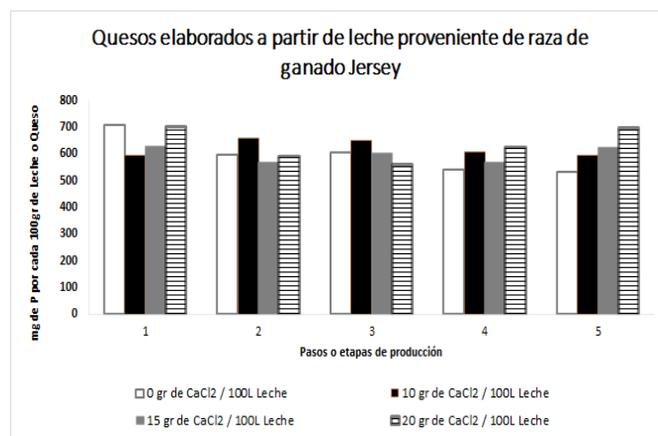


Figura 2. Variación en la concentración de fósforo en las distintas etapas de producción de quesos pasta blanda (pasos): (1) Queso después del auto prensado, (2) Queso después de la salmuera, (3) Queso a los 5 días de maduración, (4) Queso a los 10 días de maduración, (5) Queso a las 15 días de maduración. En la raza Jersey.

En la figura 3 para la raza mestiza, se observan cambios en la concentración de P con la adición de $CaCl_2$, y se puede apreciar que adicionar 20 g de $CaCl_2/100L$ en todos los pasos aumenta un poco la concentración de fósforo. Sin

embargo en los pasos 4 y 5 es casi indiferente adicionar 10, 15 o 20 g de CaCl₂/100L, además los valores de P están en el rango exigido por la normativa.

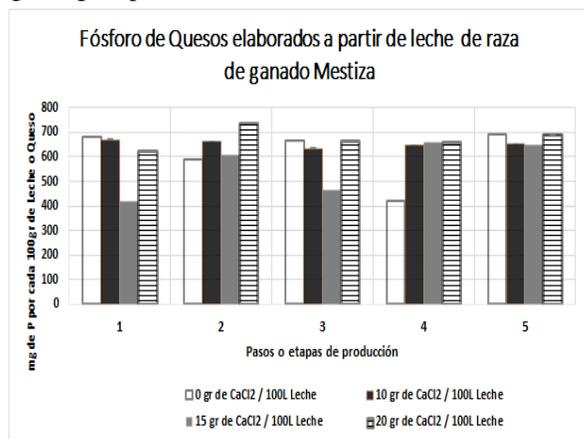


Figura 3. Variación en la concentración de fósforo en las distintas etapas de producción de quesos pasta blanda (pasos): (1) Queso después del auto prensado, (2) Queso después de la salmuera, (3) Queso a los 5 días de maduración, (4) Queso a los 10 días de maduración, (5) Queso a los 15 días de maduración. En la raza Mestiza.

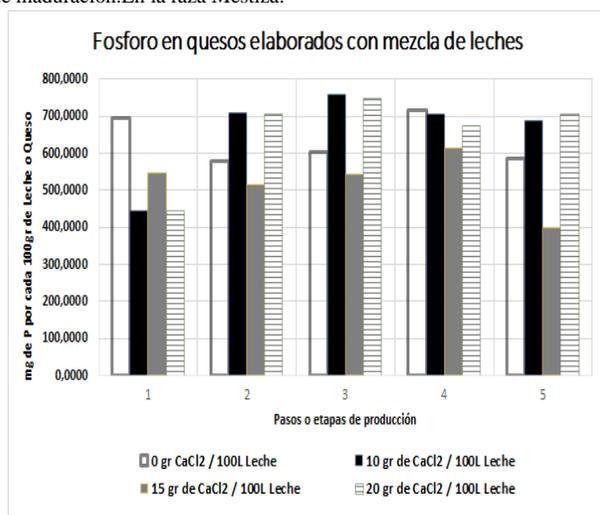


Figura 4. Variación en la concentración de fósforo en las distintas etapas de producción de quesos pasta blanda (pasos): (1) Queso después del auto prensado, (2) Queso después de la salmuera, (3) Queso a los 5 días de maduración, (4) Queso a los 10 días de maduración, (5) Queso a los 15 días de maduración. En la raza Mezcla.

En la figura 4 para la raza considerada mezcla presenta valores de P muy dispersos en cada tratamiento y en cada paso, y adicionar 10g CaCl₂ aporta los valores más altos en P y están en el rango exigido.

La mayor variabilidad en la concentración de fósforo, a través de las distintas etapas de elaboración de quesos, se obtienen cuando se usan en la preparación de los quesos, leches de razas no puras como la Mestiza y las mezclas de todas las leches; como se observa en las figuras 3 y 4; mientras se tienen resultados menos dispersos para las razas puras Jersey y Holstein.

Se presume que cada leche según la raza de procedencia es distinta y tiene unas características totalmente disímiles por variar su composición nutricional, factores en los que contribuye la calidad genotípica del ganado lechero que aporta cada leche. Según ciertos autores (Tornadijo y col., 1998, Sbodio y col., 2010, El-Gawad 2011).

De los estudios del contenido de fósforo, respecto a la raza se puede apreciar que en algunas razas se favorece el incremento del contenido de fósforo, al adicionar más CaCl₂ (Tornadijo y col., 1998), el calcio presente se enlaza con el fósforo para formar fosfato de calcio, componente importante en la coagulación de la leche y en la formación de la caseína, por lo tanto la coagulación de la leche no está ligada únicamente a la concentración de calcio, depende también del contenido en fosfato cálcico coloidal (micelar).

Si observamos lo arrojado por el análisis estadístico en SPSS 21, los datos muestran que existe dependencia estadística y altamente significativa entre la raza y el tratamiento, la raza y el paso (etapa de producción), tratamiento y paso, y raza, tratamiento y paso, ($p < 0.005$), la concentración de fósforo depende entre otras cosas de la raza de ganado lechero que se utiliza para la elaboración del queso, y el tratamiento o la cantidad de cloruro de calcio adicionado.

Tabla 1, Pruebas de los efectos inter-sujetos, arrojadas por el programa estadístico SPSS21

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: mg de fósforo por cada 100 gr de (Queso)					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1050137,713 ^a	79	13292,882	7,316	,000
Intersección	58764756,115	1	58764756,115	32342,070	,000
Raza	83086,472	3	27695,491	15,243	,000
Tratamiento	138305,527	3	46101,842	25,373	,000
Paso	8421,158	4	2105,289	1,159	,335
Raza * Tratamiento	109263,662	9	12140,407	6,682	,000
Raza * Paso	173433,471	12	14452,789	7,954	,000
Tratamiento * Paso	99269,433	12	8272,453	4,553	,000
Raza * Tratamiento * Paso	438357,990	36	12176,611	6,702	,000
Error	145358,056	80	1816,976		
Total	59960251,884	160			
Total corregida	1195495,769	159			

a. R cuadrado = ,878 (R cuadrado corregida = ,758)

Para la variable paso etapa de producción, se obtiene una significancia de 0.335, mayor que 0.05, indica que aun que existen diferencias entre las medias de las concentraciones de fósforo obtenidas, estas son pequeñas, y desde el punto de vista estadístico no son suficientes para rechazar la hipótesis nula de que las medias entre la concentración de fósforo según el paso presentan diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$). Esto quiere decir que la concentración de fósforo no es afectada, cuando esta se relaciona con los pasos de fabricación del queso en estudio.

5 Conclusiones

La mayor variabilidad en la concentración de fósforo, en las etapas de elaboración de quesos, se presenta cuando se usan en la preparación de los quesos, leches de razas no puras como la Mestiza y las mezclas de todas las leches.

La composición de fósforo se mantiene sin mayor variabilidad una vez el queso inicia su etapa de maduración.

En general los quesos elaborados por la productora de quesos universitaria Lácteos Santa Rosa, posee una cantidad de fósforo mayor que el rango nutricional establecido (500-610 mg de fósforo por cada 100 g de queso).

Agradecimientos

Al Consejo de desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de los Andes Mérida, Venezuela por su aporte en el proyecto I-1401-14-08-B.

A Lácteos Santa Rosa por apoyo y al Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos en el proyecto programa CVI-ADG-I-01-12-08.

Referencias

- Alais C, 2003, Ciencia de la Leche, 2da edición, Ed. Reverté S.A., Sevilla, España.
- Badui-Delgar S, 2006, Química de Los Alimentos, cuarta edición, Pearson Educacion, Mexico
- Berenblum I, Chai, E, 1938, Studies on the colorimetric determination of phosphate, Biochem. J., Vo., 13, No2, pp.235-298
- Borregales C, (s.f.). Aspectos Generales Sobre la Elaboración de Quesos. Mérida Venezuela.
- Cali C, 2007, Elaboración de queso fresco con diferentes niveles de leche de soya, Tesis de grado. Riobamba, Ecuador: Escuela de ingeniería en industrias pecuarias.
- Codex Standard 283-1978. 1978, Norma general del CODEX para el queso. Comisión del Codex Alimentarius COVENIN 9383-1983. Norma. Leche y Productos Lácteos. Métodos para la toma de muestra. Fondonorma. Caracas, Venezuela
- COVENIN 1813:2000. 2000, Norma venezolana.
- Normageneral de quesos. Caracas, Venezuela: Comisión Venezolana de Normas Industriales. Fondo Norma.
- El-Gawad M, Ahmed N, 2011, Cheese Yield as Affected by Some Parameters Review. Acta Sci. Pol., Vol.10. No 2, pp 131-153.
- Formigoni A, Biagi G, 2010, is there a feeding strategy to increase milk casein content? Italian Journal of animal Science, Vol., 61, 231-234.
- Instituto Nacional de Nutrición INN: División de Investigaciones en Alimentos, 1999, Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, Tabla de composición de alimentos para uso práctico Publicación N° 32, Caracas, Venezuela, Serie Cuadernos Azules
- Ramirez J, 2009, Composición Mineral de la leche de Vaca: Los fosfatos, Tecnología Láctea Latinoamericana, pp 47-53
- Skoog DH, 1992, Principios de Análisis Instrumental, Mc Graw Hill, España
- Starovičová M, Hartemink R, 2015, Proteínas de la leche, representative of Wageningen University Wednesday <http://www.food-info.net/es/protein/milk.htm> acceso abril 2016
- Tornadijo M, Marra A, García M, Prieto B, Caraballo J, 1998, La calidad de la leche destinada a la fabricación del queso: calidad química, Ciencia y Tecnología Alimentaria, vol., II No 2, pp79-91.
- Veisseryre R, 1980, Lactología Técnica, Composición, Recogida, Tratamiento y Transformación de la Leche, Ed Acribia, España
- González Aura Marina:** Ingeniera Químico, MSc Química Aplicada, Doctorado en Ciencias Aplicadas Facultad Ingeniería, Profesor Titular, Investigador en Ciencia y Tecnología de la Química Aplicada.
- Quiñones Ana,** Ingeniera Químico ULA Marzo-2015, Ingeniero en planta de Helados Tío Rico, Unilever Andina de Venezuela, revisión de fórmulas para la producción de helados, manejo de inventarios, BPF y BPM en almacenes de materias primas y empaques, desde abril 2016 el arranque de la planta de helados ubicada en Guacara Estado Carabobo. Correo electrónico: anylis_9@hotmail.com
- Antonio José Fernández Araque.** Asistente de Laboratorio Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Técnico Medio en Química estudios licenciatura en Química, Asistente de Laboratorio. Correo electrónico: ajfa120757@gmail.com
- Izaguirre Guarisma, César Miguel:** Lic. en Química, ULA; Postgrado Interdisciplinario en Ciencia y Tecnología de los Alimentos-UCV; Investigador y Coordinador del Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos. Correo electrónico: cmizag@ula.ve

Gómez, Rubén: Ingeniero Químico ULA, MScFoodTechnology Reading UniversityEngland, Profesor Titular activo ULA, Director del Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos Facultad Ingeniería ULA. Correo electrónico: rcgomez@ula.ve

Perez Gil Ramón Dario: Ingeniero Químico ULA. Asistente en Dirección y procesos Ing. en PAU Lácteos Santa Rosa. Correo electrónico: pgdario@hotmail.com

Borregales, Carmen: Ingeniero Químico ULA. MSc-FoodTechnology Reading UniversityEngland, Profesora Titular Jubilada de la ULA. Asesora en Tecnología Láctea. Directora de la Productora de Alimentos Lácteos Sta Rosa ULA. Correo electrónico: carmenborregales16@hotmail.com

Capítulo 51

Tutoriales automáticos para aprender, enseñar y evaluar conceptos científicos y tecnológicos

Alvarez, Nancy

Núcleo Universitario “Rafael Rangel”, Universidad de Los Andes,
Trujillo, Trujillo, Venezuela
nalvarezperozo@gmail.com

Resumen

La elaboración de un tutorial, basado en una matriz metafórica que ayudó a definir y comprender la evolución del concepto Calor desde la perspectiva de la Física, entusiasmó a desarrollar una plataforma Web con el fin de que los docentes, utilizando la estructura de esta matriz, generen automáticamente tutoriales al agregar conceptos científicos y tecnológicos, y observen si los mismos ayudan a incrementar el conocimiento de los estudiantes. En esta exposición se describe brevemente el tutorial para luego acentuar el interés en la plataforma Web desarrollada que servirá de guía para el diseño de instrumentos tecnológicos que dirijan la instrucción, y que integrarían nuevas estrategias en la instrucción con hipertexto en instituciones educativas y empresariales, y que facilitarían a los usuarios a adquirir la información pertinente de acuerdo con su necesidad, seguidas por evaluaciones efectivas.

ISBN: 978-980-11-1858-9



1 Introducción

Siguiendo los tres tipos de conceptos metafóricos desarrollados por Lakoff y Johnson (1980) se elaboró una matriz metafórica basada en el lenguaje coloquial-tradicional o cotidiano, y constituida por una red de metáforas estructurales (*gestales multidimensionales*) de complejidad creciente que surgieron de la manipulación directa con un concepto común: el concepto "fluido/sustancia" entrando a diferentes "envases/objeto"

Esta matriz metafórica surgió al focalizar diferentes aspectos del concepto metafórico "Fluido (*sustancia/envase*)/Envase (*objeto/envase*)": un concepto muy estructurado y claramente delineado que se sobrepuso a un texto elaborado sobre la evolución del concepto Calor desde la perspectiva de la Física, y que sirvió para definir y comprender el desarrollo de ese concepto.

La característica principal de esta matriz es haber establecido las relaciones entre sus conceptos emergentes, bases experienciales, metáforas (oraciones) y aspectos destacados del concepto metafórico "Fluido/envase", a través de implicaciones (metafóricas y no metafóricas), consecuencias e intersecciones de las bases experienciales, y haber ubicado en un mismo lugar los nodos y enlaces entre nodos, enlaces y cuatro aspectos destacados del concepto Calor.

Al focalizar esta matriz metafórica los niveles conceptuales del desarrollo del concepto Calor, se decidió elaborarla en un tutorial conformado por un hipertexto basado en una base de datos relacional isomorfa, denominado *Tutorial Interactivo para el Aprendizaje del Concepto Científico Calor con la ayuda de una Técnica Metafórica Hiperlineal* (Olivar 2008). Este tutorial fusiona las características que han tenido mayor éxito en la instrucción y garantiza una instrucción dirigida con hipermedia y una evaluación del conocimiento científico (2011).

2 Objetivo

Como la información sobre el concepto Calor, que se infiere a través de la metáfora "Fluido/Envase", no es en términos de relaciones de un dominio semántico común entre ambos, ni de compartir atributos semánticos comunes, sino que un dominio conocido proporciona una estructura, que al sobreponerla a otros dominios como el científico, identifica, explora e informa sobre esos dominios, se decidió desarrollar una plataforma Web (Escalona 2016) para que los docentes, utilizando la estructura de esta matriz, generen automáticamente nuevos tutoriales al agregar conceptos científicos y tecnológicos, y observen si los mismos incrementan el conocimiento de los estudiantes. Para el desarrollo de esta plataforma se utilizó el *framework* de PHP *Laravel* el manejador de Bases de Datos MySQL.

3 Información de la plataforma Web

La plataforma web desarrollada permitirá a docentes expertos en una temática determinada generar de manera automática nuevos tutoriales basados en la estructura de esta matriz metafórica (Alvarez 1996) al agregar un concepto que desea enseñar.

Si desea agregar un concepto nuevo en esta plataforma o evaluar a sus estudiantes con un concepto existente, debe solicitar al administrador que le conceda el permiso de profesor. Para ello debe enviar un correo electrónico a generadortutoriales@ula.ve, exponiendo sus motivos y el uso que desea dar a esta plataforma Web, "Generador de Tutoriales", cuya dirección pública (temporal) es <http://sira.pg.ing.ula.ve/>

Para agregar conceptos, los expertos deben seguir la estructura de la matriz metafórica que se comporta de la manera siguiente: un concepto debería tener diferentes fases de desarrollo. En el caso del concepto Calor se identificaron seis fases de desarrollo: desde su primera definición, en términos de la Teoría del Fluido Calórico, hasta su última definición, en términos de la Teoría Cinética Molecular, estudiándose los conceptos implicados en esa evolución como la definición y producción de calor en términos de los conceptos Fuerza, Impulso o Cantidad de Movimiento, Trabajo y Energía (Alvarez 1996).

Cada fase identificada tendría como mínimo cuatro Aspectos, a saber:

- **Primer Aspecto:** Generalización del concepto objeto.
- **Segundo Aspecto:** Generalización del concepto sustancia.
- **Tercer Aspecto:** Especialización del concepto objeto.
- **Cuarto Aspecto:** Especialización del concepto sustancia.

Cada aspecto tendría diferentes componentes como contenido, temas relacionados, dimensiones, equivalencias, relaciones y bibliografía, y que se explican a continuación:

1. Contenido: es el contenido de los aspectos de un concepto donde se elaboran oraciones o metáforas como: sustancia que se suministra o se aplica a un objeto y el valor de la actividad que interesa medir.

2. Temas relacionados: al principio o final de cada aspecto aparecen los temas relacionados, los cuales amplían una información o introducen un próximo aspecto o próxima fase de desarrollo de un concepto.

3. Dimensiones (categorías o propiedades) dadas en conjunto del concepto que se define y son:

- *Participantes:* los elementos que interactúan entre sí (sustancia, objeto y valor –actividad que interesa medir).
- *Partes del objeto:* al objeto se le señalan sus partes (límites o fronteras) que expresan un valor (límite inicial, límite mientras se suministra/aplica la sustancia y límite final).
- *Etapas o secuencia lineal:* trata del turno de los participantes que interactúan entre sí.

- *Actividad o acción*: responde a la pregunta *¿qué hace?*, y es lo que interesa medir.

- *Resultado de la acción*: lo que ocurre al realizar una acción o actividad como suministrar una sustancia a un objeto. Ese resultado, un acto de *cuantificación* de la *actividad o acción* de los *participantes*, se expresa en términos de orientación espacial como arriba, abajo, adentro, afuera, etc.

- *Papeles de los participantes*: son metas u objetivos de cada participante.

- *Progreso*: otro resultado de la actividad o acción.

- *Lo obvio*: se identifican cosas obvias.

- *Rapidez*: realización de la actividad por parte de los participantes en mayor o menor tiempo.

- *Lo oculto*: aquello que estaba oculto en los aspectos previos y surge en el aspecto que se está desarrollando.

- *Lo básico*: refiere que todos los participantes pueden realizar la misma actividad que se mide con mayor o menor cantidad de sustancia en menor o mayor tiempo, excepto en algunos casos. Esta dimensión surge en el cuarto aspecto del concepto bajo estudio.

4. Equivalencias: corresponden a las relaciones que tiene cada aspecto que transfiere esta matriz metafórica sobre la evolución del concepto Calor con la educación formal que ofrece la Universidad de Los Andes en los Planes de Estudio de sus diferentes carreras como unidad de estudio y asignatura.

5. Relaciones: tanto las oraciones (metáforas) de cada aspecto como los aspectos de un concepto se relacionan entre sí a través de implicaciones e intersecciones metafóricas y no metafóricas y consecuencias metafóricas. Al final del contenido de cada aspecto aparecen las relaciones entre conceptos o entre aspectos del concepto.

6. Bibliografía: lista de referencias que aparece en cada aspecto sobre las publicaciones consultadas sobre el estudio evolutivo del concepto Calor.

7. Evaluación: lista de preguntas de cada aspecto seleccionadas por el docente sobre el estudio evolutivo del concepto.

4 Requisitos del sistema

Registro de usuarios: el administrador del sistema registra a los diferentes usuarios de la plataforma como estudiante o profesor

Creación y visualización de conceptos: el profesor puede agregar conceptos y elementos multimedia mediante el uso de la plantilla, lo cual genera un concepto nuevo automáticamente dentro de la plataforma. El profesor puede agregar, editar, publicar o listar conceptos y ver las estadísticas de sus estudiantes.

- Menú profesores
- Lista de conceptos
- Menú de un concepto
- Menú para agregar o editar un aspecto
- Lista de conceptos

- Estadísticas de los estudiantes

- Lista de conceptos estudiados por el usuario

- Notas del estudiante

Desarrollo del sistema

- Primer ciclo: implementación de la administración de usuarios

- Segundo ciclo: creación y visualización de conceptos

- Tercer ciclo: evaluaciones de los estudiantes

Pruebas del sistema

- Primer ciclo: administración de usuarios

- Segundo ciclo: Creación y visualización de conceptos

- Tercer ciclo: Estadísticas de los estudiantes

Prueba de integración

5 Conclusiones

La plataforma web desarrollada en este proyecto representa una fuente de información confiable para estudiantes, ya que los conceptos serían elaborados por expertos en la materia. Cuenta con una interfaz gráfica agradable y adaptable, permitiendo que se pueda visualizar en cualquier tipo de dispositivo como computadoras, tabletas y teléfonos inteligentes. Se logró el objetivo de automatizar la creación de conceptos por parte de los profesores, lo que permite prescindir de un programador para agregar conceptos nuevos dentro de la plataforma utilizando la estructura de la matriz metafórica. La plataforma cuenta con un editor de texto enriquecido que permite a los profesores dar formato al texto, agregar tablas, imágenes, videos desde YouTube® y fórmulas matemáticas utilizando LATEX (Escalona 2016).

La generación de tutoriales u otros sistemas basados en la estructura de esta matriz es, además, de gran beneficio para el personal de las instituciones educativas y empresariales a transferir y asimilar tanto conceptos científicos como tecnológicos que demande el mercado, así como acceder a la vasta información concerniente a prácticas y procedimientos particulares de la organización, y programas comprensivos de entrenamiento, buscando la apropiación tecnológica por parte del personal.

Estos sistemas pueden considerarse como una técnica para la conexión entre tareas y dependencias de laboratorio, instrumentos y equipos, así como una guía para las especificaciones técnicas de normas, exigencias y procedimientos a ser aplicados en nuestras instituciones educativas y empresariales, y facilitaría a los usuarios a adquirir la información pertinente de acuerdo con su necesidad, así como la tarea de evaluación en el proceso enseñanza-aprendizaje y de los parámetros de eficiencia de cualquier institución.

6 Recomendaciones

Como este proyecto se limitó al desarrollo de un sistema con las características especificadas en el transcurso de esta exposición sería recomendable a quienes se entusiasman a generar sus propios tutoriales, realizar en el tutorial ya desarrollado, definición del concepto Calor desde la

perspectiva de la Física, aunque sea el Primer Aspecto de la Primera Fase de desarrollo de este concepto, con el fin de familiarizarse con esta estructura metafórica. Esta actividad clarificará, además, la manera de organizar textos sobre la evolución de un concepto desde una específica disciplina y así identificar sus fases de desarrollo y sus aspectos en términos de teorías científicas. Esta organización de textos es de gran beneficio para clasificar la información y la evaluación del conocimiento por niveles conceptuales, desde el más simple al más complejo.

Otra recomendación es que previamente a la generación de un nuevo tutorial, es imprescindible elaborar las preguntas de la evaluación por fases y aspectos del concepto bajo estudio ya que será el banco de preguntas de donde el docente escogerá las que formarán parte de un pretest, el cual consiste en una prueba diagnóstica para conocer el nivel académico del estudiante en el área del tutorial.

Referencias

Alvarez N, 1996, La Metáfora y el Desarrollo Científico. Mérida: Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes–Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la ULA.

Alvarez, N, 2011, La Metáfora como Estrategia Didáctica. Hacia el Aprendizaje Hiperlineal Metafórico. ISBN-13: 978-3-8454-9518-7. Publishing house: Editorial Académica Española (2011-10-07)

Escalona F, 2016, Desarrollo de un sistema automático para la implantación de una matriz metafórica. Tesis para la obtención de título de grado en Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Lakoff G, Johnson M, 1980, *Metaphors We Live By*. Chicago: The University of Chicago Press.

Olivar A, 2008, Tutorial Interactivo para el Aprendizaje del Concepto Científico Calor con la Ayuda de una Técnica Metafórica Hiperlineal.

Alvarez, Nancy: Profesora Titular, Dpto. de Lenguas Modernas, Universidad de Los Andes, Trujillo. Lic. en Letras, Universidad de Los Andes (1971). Maestría en Letras, St. Andrews University, Escocia (1979). Área de Investigación: i) La Metáfora para captar y enseñar el lenguaje científico, ii) Tecnología Educativa: diseño de material Instruccional.

Diseño e implementación de un sistema gestor para la vigilancia de los sistemas de enfriamiento y de respaldo eléctrico en la central Mérida I de CANTV

Velazquez, Oscar^{1*}; Cardillo, Juan²; Davila, Omar³

¹EISULA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes,
Merida, Venezuela.

²Departamento de Sistemas de Control, EISULA, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

³CANTV Mérida, Venezuela.

*oscarvelasque@gmail.com

Resumen

En todas las centrales de CANTV es imprescindible tener una temperatura adecuada para el correcto funcionamiento de las salas digitales y de transmisión. Esto se realiza por medio de un sistema de refrigeración basado en aires acondicionados (AA). Además, toda central cuenta con un sistema de respaldo para fallos en el suministro eléctrico, fundamentado en un sistema de corriente proveniente de moto-generadores con sistema de conversión de corriente alterna a corriente continua y/o bancos de baterías. Ambos sistemas, tanto el de refrigeración como el de respaldo eléctrico funcionan 24 horas los 365 días del año, por lo que se requiere de su buen funcionamiento con el fin de garantizar el óptimo servicio de comunicación. Poder garantizar dicho funcionamiento pasa por determinar el estado de ambos sistemas y tener mecanismos de ajuste para tratar de prevenir/determinar y colocar en condición segura al sistema cuando una falla o fallo se presente en estos.

En tal sentido, el presente trabajo está enfocado en el análisis, diseño e implementación de un sistema gestor de vigilancia capaz de monitorear y supervisar a ambos sistemas. Al primer sistema denominado Variables Ambientales consiste en actuar el sistema de refrigeración (AA) y controlar la temperatura, determinar alarmas y establecer un supervisor para actuar sobre las causas de las variaciones de la temperatura. El sistema de respaldo eléctrico, consiste en un sistema capaz de monitorear y supervisar los voltajes del banco de baterías y red eléctrica para establecer la fiabilidad y la confiabilidad del servicio de respaldo. Para ello, se diseña un sistema de gestión basado en técnicas de supervisión, aunado a ideas de la Inmótica y cuya implantación usa criterios tanto en arquitectura como en implementación de control supervisorio clásico, pero utilizando dispositivos de bajo costo (no industriales) como lo son la tarjeta Raspberry PI en donde se encontrará el gestor y cuyos mecanismos de regulación son implementados en un micro-controlador PIC; se usará comunicación serial básica con un protocolo integrado y despliegues mediante web service.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

Todas las centrales de la Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela (CANTV) poseen salas donde se encuentran equipos que permiten establecer envío de voz y datos (comunicaciones) tanto a nivel nacional como a nivel internacionales. Para mantener estos equipos en operación ininterrumpida durante 24 horas todo el año, se requieren de ciertas condiciones ambientales (temperatura, presión, humedad) óptimas y de un sistema de respaldo eléctrico, que permite mantener los niveles de voltajes sobre los equipos y permanezcan operativos. En nuestro caso y por ser el primer prototipo de esta clase en la Central CANTV, solo abordaremos como variable ambiental la temperatura. Los niveles de temperaturas en los equipos son recomendados por los fabricantes o en su defecto decididos por la gerencia de la empresa. Tener los niveles óptimos (deseables) de temperatura permitirá un correcto funcionamiento de los equipos, alargar su vida útil y prestar un buen servicio.

El sistema de respaldo eléctrico es el apoyo al momento de efectuarse un fallo eléctrico, este sistema interviene de forma inmediata sin que se interrumpa el servicio eléctrico, y por lo tanto el servicio de transmisión de voz y datos no se interrumpe. El cambio de sistema de energía principal al de respaldo es instantáneo, debido a que este sistema de respaldo cuenta con un banco de baterías que se mantiene conectado todo el tiempo a los equipos, para mantener a los equipos operativos, por ende, mantener vigilancia (supervisión) sobre el banco de baterías y sobre todo el sistema de respaldo es de vital importancia. Por razones de seguridad y transmisión, todos los equipos de transmisión funcionan con -48 Voltios DC.

Los sistemas de respaldo eléctrico y de enfriamiento de las salas no deben fallar, pues una falla en estos 2 es grave para CANTV, sin embargo, ocurren fallas provenientes de caídas eléctricas, baterías con poco voltaje, aires dañados, fallas de red internas o fallas sin reportes o avisos. Una caída del sistema de transmisión y datos, fuera del malestar ocasionado por la falta del servicio, podría llevar horas y hasta días para poder levantarlo.

El personal de ingeniería de CANTV, en su afán por prestar un buen servicio, quisiera implementar un sistema capaz de monitorizar y actuar en ambos sistemas con el fin de mejorar la confiabilidad a través de la fiabilidad de los equipos. Para ello se propone diseñar, construir e implementar un gestor de vigilancia capaz de monitorizar, supervisar y actuar, tanto al sistema de respaldo eléctrico como en los sistemas de enfriamiento de las salas de transmisión de CANTV en la central Mérida I

El gestor de vigilancia permitirá mantener supervisión y monitoreo continuo, sobre las variables, para ello se hará uso de tarjetas electrónicas que emularan dispositivos industriales de alto costo. Tarjetas con un micro-controlador PIC monitorizaran y actuaran como las variables y en una Raspberry Pi se implementará el sistema de vigilancia sobre ambos sistemas. Para ello haremos uso de los principios de la Inmótica y cuya implementación usa criterios tanto en arquitectura como en implementación de control supervisorio clásico (Antsaklis and Moody 1998), se usará comunicación serial, empleando un protocolo de comunicación propia y despliegues vía web service, esto acorde con los requerimientos pedidos por CANTV.

2 Marco Teórico

En esta sección se describirán los conceptos fundamentales para el desarrollo del sistema gestor.

2.1 Sistemas Embebidos

Según (Úbeda 2009), un sistema embebido (SE) o sistema empotrado, lo vamos a definir como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar determinadas funciones, habitualmente formando parte de un sistema de mayor entidad. La característica principal es que emplea para ello uno o varios procesadores digitales (CPUs) en formato microprocesador, micro-controlador o DSP lo que le permite aportar 'inteligencia' al sistema anfitrión al que ayuda a gobernar y del que forma parte. Generalmente un sistema embebido se trata de un módulo electrónico alojado dentro de un sistema de mayor entidad, el cual ayuda en la realización tareas tales como el procesamiento de información generada por sensores, el control de actuadores o relés, etc., El cerebro de dicho módulo lo forma al menos un CPU, como micro-controladores, Chips entre otros. En la Figura 1 se muestran dos sistemas embebidos compuestos de sensores, radiotransmisores y microporesadores, que representana una red de sensores inalámbricos.

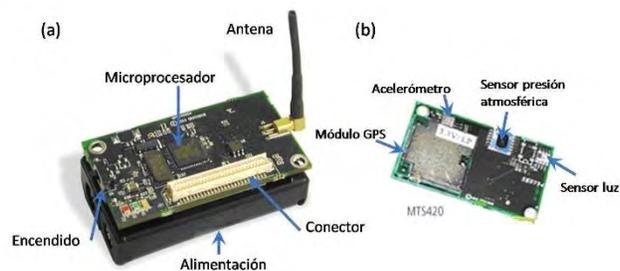


Fig. 1. Figura de Sistema Embebido

2.2 Inmótica

Es un término que es poco conocido, pero ampliamente aplicado en distintas latitudes para la automatización en las empresas. La Inmótica es un conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de edificios no destinados a viviendas, como hoteles, escuelas, hospitales, industrias, etc. La Inmótica se presenta como un método de gestión remoto, centralizado y automatizado, que se beneficia de la incorporación de subsistemas en las instalaciones de los edificios terciarios con el fin de optimizar los recursos, disminuir el consumo innecesario de electricidad, aumentar la seguridad y el confort de los trabajadores, así como comunicación entre el usuario y el sistema de gestión. (Cedom, sf). En la Figura 2 se muestra los diferentes sistemas que Inmótica proporciona para la automatización de edificaciones.

2.3 WEB Service

Un Servicio Web es un conjunto de protocolos que se utilizan para el intercambio de datos e información entre las aplicaciones webs. Según (Mendoza sf), en general "servicio web" suele referir a clientes y servidores que se comunican usando mensajes XML que siguen el estándar SOAP, permite comunicación entre diferentes máquinas, con diferentes plataformas y entre programas distintos. Esta comunicación se logra a través de la adaptación de diversos estándares abiertos de internet. Las aplicaciones Web se pueden desarrollar utilizando cualquier arquitectura. La arquitectura del Modelo-Vista-Controller es un paradigma de programación bien conocido para el desarrollo de aplicaciones con interfaz gráfica (GUI), además de ser la más usada actualmente. En este proyecto se implementará una aplicación *web service* utilizando los principios del Modelo Vista-Controller (MVC), haciendo que la programación sea por módulos, permitiendo una interfaz cómoda para el desarrollo, cumpliendo así con la interacción usuario – sistema.

3 Análisis de requerimientos del Sistema Gestos de Vigilancia

El sistema gestor será diseñado y construido para CANTV en la central Mérida Centro, Mérida I, ubicada en el Municipio Libertador, estado Mérida, entre la avenida 3 y 4 (ver Figura 8). Esta central como todas las demás centrales de CANTV, está encargada de mantener las telecomunicaciones en pleno funcionamiento; para ello cuenta con salas de telefonía, transmisión de datos e internet.

Esta central cuenta con las 3 salas para las telecomunicaciones. Como los son la sala de **transmisión**, sala de **da-**

tos y la sala de **conmutación** o **ADSL**, tal y como lo muestra la Figura 5.



Fig. 2. Figura de Inmótica.(tomado de www.cedom.es).

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de las vistas de un Sistema Web Seervice.

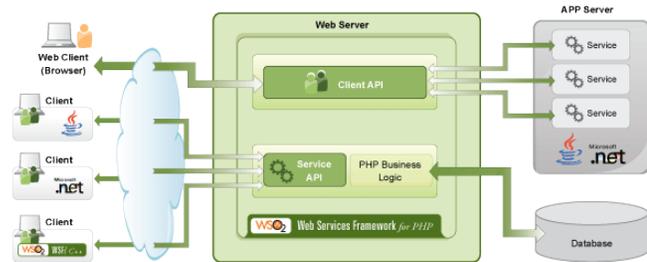


Fig. 3. Vistas de un sistema Web Service.

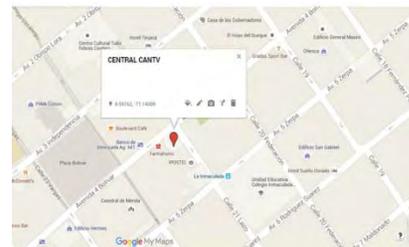


Fig. 4. Ubicación Central CANTV.

3.1 Sala de conmutación

Esta sala es el cerebro de las comunicaciones telefónicas del país, este permite el almacenamiento y control de los datos y tráfico de información, como los datos de facturación, tiempos de llamadas, números telefónicos, recibo y envío de información, entre usuarios y entre centrales de

CANTV, sistemas bancarios, etc. Esta sala cuenta con arreglos de clusters en secciones de 4, ver Figura 6, estos equipos son los encargados del tráfico de información, así como la habilitación de las comunicaciones entre operadoras y clientes.

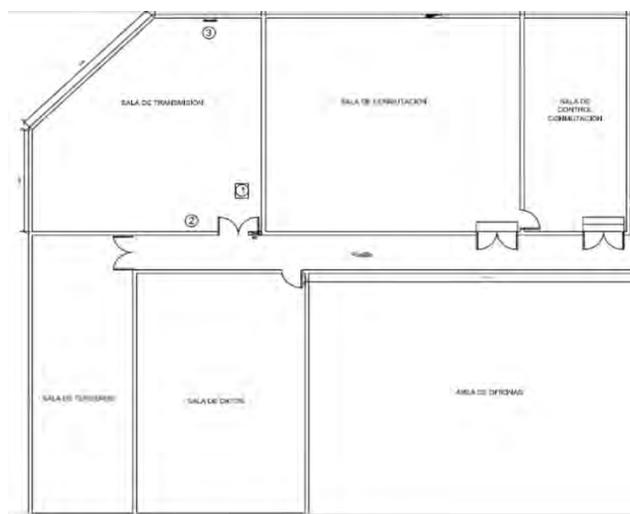


Fig. 5. Salas de transmisión y datos de la Central CANTV.

Los equipos, tal como lo muestra la Figura 6 deben mantenerse refrigerados constantemente, así las especificaciones de los fabricantes refieren que la temperatura de las salas debe mantenerse en unos 18 °C, los equipos (en negro) son refrigerados por ductos que atraviesan el suelo (piso falso), el aire se eleva por rejillas situadas en el suelo, esto permite que la refrigeración de los equipos recorra los cluster de abajo hacia arriba, dando un enfriamiento de manera vertical. Esta sala tiene 111,8 m² (13 m x 8.60 m), esta instalación es una de las más refrigeradas, cuenta con 2 equipos de AA con 2 compresores cada una, suministrando 60000 BTU en total.

3.2 Sala de Transmisión

En esta sala están instalados los equipos (en negro) encargados de la transmisión de datos e información entre las centrales, las transmisiones vía satelital, cable de cobre, radio, o digital, ver Figura 7. En ella también se encuentran la conexión de las líneas telefónicas de los usuarios. Estos equipos son alimentados por los rectificadores, con un voltaje de -48 voltios DC. La temperatura recomendada para estos equipos no debe superar los 22 °C.

El aire que refrigera esta sala se comparte a través de un ducto (en azul) con la sala digital, por ende, la temperatura en esta sala es un más elevada. La alimentación de los equipos es proveída por un cuadro de fuerza (en naranja) instalado en la sala.

3.3 Sala de Datos

En esta sala están alojados los equipos digitales (en negro), que permiten el tráfico de información digital, entre las centrales, además de servir como el canal de tráfico informático para pequeñas, medias y grandes empresas (PDVSA, POLAR, etc.), así como de entes gubernamentales, CNE, Gobernación, etc, ver Figura 8

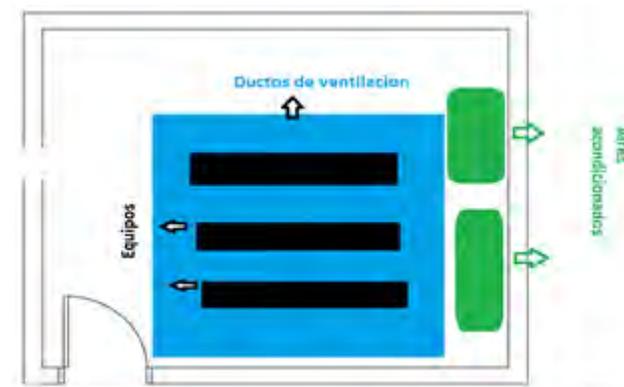


Fig. 6. Sala de Conmutación.

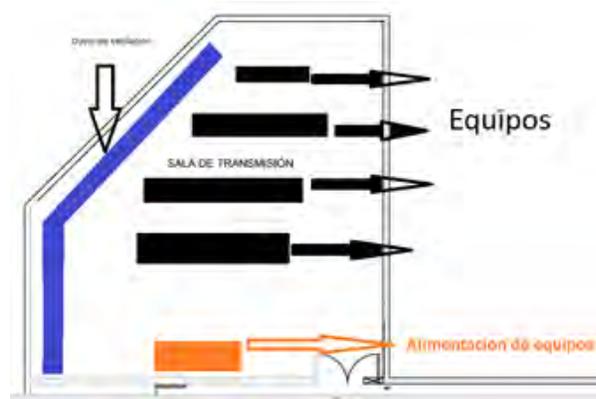


Fig. 7. Sala de Transmisión.

Los equipos instalados en esta sala proveen el canal por donde fluye toda la data digital existente. Los equipos instalados en las salas son de ALCATEL, SAGEM, CISCO, la carga consumida por estos equipos es elevada entre 60 y 100 amperios, dando como resultado que estos equipos se calienten mucho.

La temperatura recomendada por los fabricantes de estos equipos es de unos 16 °C, actualmente esta sala cuenta con un equipo de refrigeración que genera 90000 BTU, suministrado por 1 equipo con 2 compresores (en verde).

El aire está situado en esta sala, pero se comparte con la sala de transmisión a través de un ducto (en azul), que comunica a las 2 salas.

Cada central de CANTV cuenta con un sistema de enfriamiento que está constituido por equipos de aires acondicionados(ver Figura 9) y ductos de ventilación, los cuales están ubicados en cada sala; estos aires acondicionados (AA) están a su vez conformados por compresores que se encuentran internamente en los equipos, el número de compresores puede variar dependiendo la marca de equipo y los requerimientos para cumplir con el enfriamiento de la misma; estos equipos son activados por medios de contactores en estado normalmente abierto y su funcionamiento es programado por relojes electrónicos.

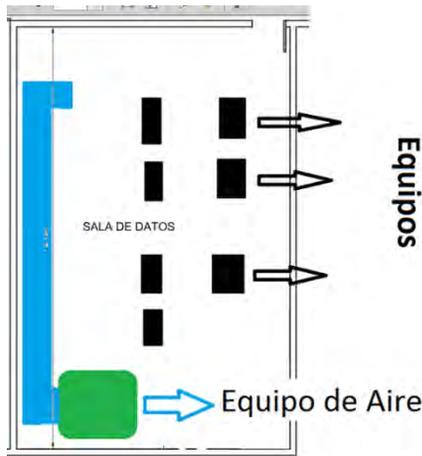


Fig. 8. Sala de Conmutación.

3.4 Composición del Sistema de Enfriamiento

Los equipos de aires que cuentan con 2 compresores, siempre tiene un compresor activo, y el segundo compresor está de manera auxiliar; en caso de tener más de 2 compresores, el funcionamiento es el mismo alternando el funcionamiento entre los compresores.

La supervisión del funcionamiento de los equipos es vigilada por relojes que mediante su programación controlan el encendido y apagado de los equipos, así como el horario de funcionamiento.

La temperatura es registrada por termostatos (gota de mercurio) comerciales que mantienen a los aires controlados (ver Figura 10), permitiendo el encendido y apagado de los mismos dependiendo de la temperatura registrada en la sala. Estos termostatos son calibrados con rangos de temperaturas fijos para el correcto funcionamiento; esto a su vez permite tener un control sobre los aires y así mantener un ahorro a de energía en lo que se refiere a horas-funcionamientos de los aires acondicionados.



Fig. 9. Aires Acondicionados.



Fig. 10. Termostato gota de Mercurio

3.5 Composición del Sistema de Enfriamiento

Todos los equipos instalados en las salas son alimentados por - 52 Voltios en DC, por normativas internas de CANTV, la alimentación principal es de 380 Voltios AC suministrada por la red eléctrica pública, que mediante un sistema de rectificación esta señal es bajada a - 52 voltios DC. Así en la Central Mérida I, el sistema de respaldo eléctrico esta conformado tal y como se muestra en la Figura 11, como se puede apreciar los equipos están conectados a un banco de baterías (conformados por 24 baterías de 2.21 voltios DC, conectados en serie, ver Figura 12, capaces de soportar 2180 Amper/hora, en condiciones normales a una

temperatura no mayor a los 24 °C.) que suministran la energía necesaria para su funcionamiento. Este Banco de Baterías es alimentado por rectificadores que convierten 380 Vol. AC en -52 Vol. DC. Los rectificadores (ver Figura 13) se alimentan de un tablero principal que contiene dos fuentes de alimentación, una es la alimentación de la red eléctrica y la otra dada por un moto-generador trifásico (ver Figura 14). El voltaje generado por el moto-generador es de 210 voltios aproximadamente por línea, corriente de 200 amper.

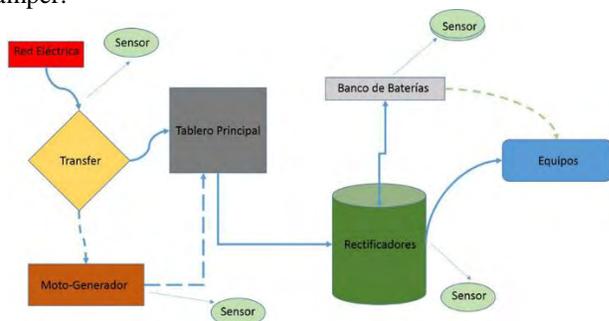


Fig. 11. Modelo del Sistema de Respaldo Eléctrico.



Fig. 12. Modelo del Sistema de Respaldo Eléctrico.



Fig. 13. Rectificadores.

3.6 Funcionamiento y requerimiento

Para las salas de transmisión, datos y conmutación, se requiere vigilancia local y remota de la temperatura con gestión de alarmas. Ya que solo se cuenta con visores locales en cada sala y su monitoreo constante hace que por intromisión humana. Esta intromisión hace que exista una variación importante de temperatura. Cuando hay un incremento en la temperatura se aumenta la incidencia del AA, bien sea bajando la temperatura o incorporando otro compresor (va a depender de la configuración de la sala). Por

problemas logísticos se hace complicado un correcto monitoreo de las salas y por ende la actuación sobre cambio en la temperatura. Basado en Inmotica se propuso incluir sensores de contacto seco en las puertas con el fin de detectar si el aumento de temperatura es dado por incursión en la sala, esta propuesta quedó para una segunda fase.



Fig. 14. Moto-generador.

Para el sistema de respaldo eléctrico tenemos que vigilar, en esta fase, cada uno de sus componentes principales, esto es: banco de baterías, rectificadores y moto-generador. Así, un banco de baterías suministra (- 48 voltios nominal, pero sube a - 52 voltios por el efecto de *voltaje de flotación*) -52 voltios, en carga máxima, este voltaje decaerá a medida que exista consumo sobre ellas, el valor permitido de descarga es hasta -43 voltios, luego de ese valor los equipos serían desconectados. Por lo tanto, las horas que puede respaldar un banco de baterías puede variar y dependerá del tamaño e importancia de la central y además del consumo de los equipos y condición de las baterías. Estas condiciones en el banco de baterías es necesario vigilarlas de forma local y remota ya que actualmente solo se cuentan con visores que muestran el desempeño de banco de baterías. Por la condición de cada batería se propuso tener un sensor en cada una para medir su carga, esta propuesta quedó para una segunda fase y solo se medirá la carga del conjunto banco de baterías. En los rectificadores se debe monitorear el funcionamiento de estos basados en la calidad de la rectificación y la presencia del suministro eléctrico. Por los costos asociados a los sensores requeridos en esta fase solo se contemplará si existe alimentación a los rectificadores y el suministro de voltaje DC.

Al momento de una falla en la red eléctrica el moto-generador se activa al cabo de 1 minuto, tiempo para detectar si realmente es una falla en la red eléctrica. Una vez encendido y puesto en marcha el moto-generador (arranque y está en carga plena), este alimenta el ramal principal de la red. La temperatura del motor en funcionamiento no debe ser mayor a los 90 grados. Una vez reestablecida la red eléctrica principal, el moto-generador esperará 1 minuto para apagarse. Todas las condiciones sobre arranque, funcionamiento, parada se monitorean de manera local. Se requiere tener vigilancia local y remota para ya que el sistema funciona de

forma automática. Debido a problemas logísticos con personal para monitorizarlo, si se presenta un problema con el moto-generador o con alguno de los componentes principales el sistema de vigilancia generaría las alarmas para poder actuar.

Los requerimientos exigidos para el sistema de enfriamiento son:

- Mantener observación y vigilancia las temperaturas de las salas.
- Vigilar las fluctuaciones de las temperaturas.
- Conocer los valores de temperatura en todo momento.
- Mantener supervisión y vigilancia de manera remota.
- Permitir el control remoto de dispositivos y/o contactores.
- Establecer de manera remota las temperaturas de referencias para alarmas.

Los requerimientos exigidos para en sistema de respaldo eléctrico son:

- Vigilar y monitorear los niveles de voltaje AC.
- Vigilar y monitorear los niveles de voltaje DC.
- Registro de alarmas antes fallos en los voltajes AC.
- Registro de alarmas antes fallos en los voltajes DC.
- Conocer el origen de la falla en el sistema de respaldo eléctrico.
- Control remoto sobre equipos del respaldo eléctrico.
- Vigilar y monitorear la activación de equipos (contactores, moto-generadores, protectores de voltajes entre otros).

Para el sistema de respaldo eléctrico se tiene precisión en donde se deben colocar los sensores para establecer el monitoreo y por ende la vigilancia. Pero en las salas donde se encuentran los equipos se decidió establecer un perfil térmico para poder establecer las condiciones de temperatura de cada una de las salas y poder hacer recomendaciones para mejorar los niveles de temperatura, así como establecer la ubicación del sensor de temperatura. Por ello, previo al montaje del sistema de vigilancia y como prueba de la tarjeta diseñada para monitorizar la temperatura (en la sección siguiente se dan los detalles), en la Figura 15 se muestra dicho perfil.

Como puede observarse, en las actuales condiciones los niveles de temperatura superan los valores establecidos para el buen funcionamiento.

4 Desarrollo

Se propone para el sistema de vigilancia un diseño basado en tres niveles, tal y como lo muestra la Figura 16. El primer nivel (azul claro, Figura 16) de dispositivos de cam-

po, asociado a sensores (temperatura, Vol AC y DC) y actuadores (Relés y Contactores), en donde se hizo un análisis, selección, montaje y pruebas de los componentes (Keithley 2002). El segundo nivel (azul oscuro, Figura 16) de Unidad de control y muestreo asociado al muestreo de los sensores y la ejecución de mecanismos de control sobre los actuadores, sujeto a los mecanismos de supervisión, este dispositivo está basado en PIC, que se seleccionó, se realizaron pruebas y luego se hizo el montaje. El tercer nivel (anaranjado, Figura 16) en donde se encuentra el mecanismo de vigilancia y el servidor web para el despliegue de la aplicación, para ello se cuenta con una tarjeta Raspberry PI. En verde, en la figura 16 se muestra los canales de comunicación entre los niveles definidos, se establecieron protocolos estándares con definición propia que serán comentados más adelante.



Fig. 15. Perfil térmico de las salas.

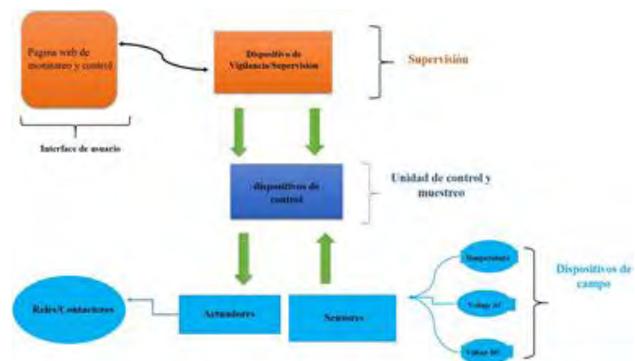


Fig. 16. Esquema general para el diseño del sistema de vigilancia.

Una disposición general y sus conexiones sobre la arquitectura teleinformática a implementar se presenta en la Figura 17.

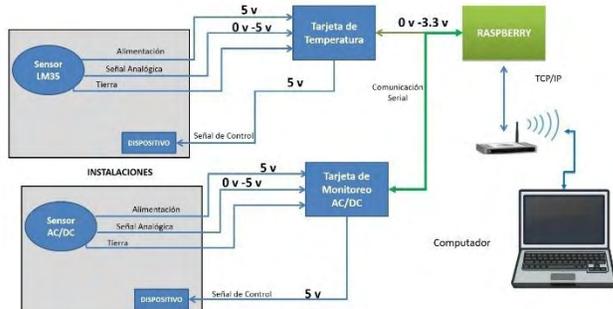


Fig. 17. Arquitectura teleinformática propuesta.

Como puede observarse en la Figura 17, como dispositivos de campo se desarrollaron dos sistemas sensores/actuadores embebidos para cada uno de los sistemas, esto es una tarjeta para el monitoreo/actuación para la temperatura y otra para el monitoreo/actuación en la Red AC/DC. Para el desarrollo de la Unidad de control se utilizó un PIC y la comunicación es a través de señales analógicas para los sensores y discretas para los actuadores. La comunicación entre el PIC y la Raspberry Pi es vía serial con protocolo propio. Todo el detalle sobre el protocolo, la conformación de la trama y su implementación se encuentran en (Vazquez 2016).

Para el desarrollo y simulación de ambas tarjetas se utilizó MIKROBASIC e ISIS PROTEUS 8 (versión estudiantil), en la herramienta de mikronasic se realizó la programación del sistema de control para los Pic, y en Proteus se llevó la simulación de las tarjetas de control y comprobar los comportamientos programados en los Pic de control. El esquema de ejecución en el PIC está dado por: Inicialización (solo una vez) - captura de datos - conversión - procesamiento - ejecución (actuación, generación de alarmas, etc.). Por ser un prototipo, la construcción de las tarjetas se realizó por el procedimiento de traspaso de las pistas del circuito hacia la baquelita de cobre.

4.1 Tarjeta de Monitoreo/Actuación para la temperatura

Como puede observarse en la figura 18, la tarjeta está conformada por 4 módulos:

- Pulsadores de ajustes. Estos pulsadores se incorporan para poder realizar ajustes locales sobre los niveles mínimo, máximo de temperatura con el fin de realizar la labor de monitoreo y control, así como la gestión de alarmas.
- Visualizador de lectura. Indicador local para mostrar la temperatura de la sala.
- Salidas. Adecuación de las salidas para los relés
- PIC. El esquema de conexiones sobre el PIC. Para esta tarjeta se utilizó el Pic 16F877.

4.2 Tarjeta de Monitoreo/Actuación para la Red AC/DC

Como puede observarse en la Figura 19, esta tarjeta contiene el PIC 18f4580, 7 relés para el control de dispositivos, 9 entradas digitales y 11 entradas analógicas. Es para hacer notar que esta tarjeta es más compleja que la anterior ya que son varios los puntos de sensado y actuación. Además, se incorporó lo establecido en la tarjeta de monitoreo/actuación para temperatura para monitorear esta variable en el banco de baterías, por ello el módulo de variables analógicas. El módulo de entradas digitales se proporciona para poder activar o desactivar dispositivos en la tarjeta con el fin de saber la configuración a gestionar. El módulo de relés estarán conectados a dispositivos asociados a: motores, contactores, botones de reinicio, etc.

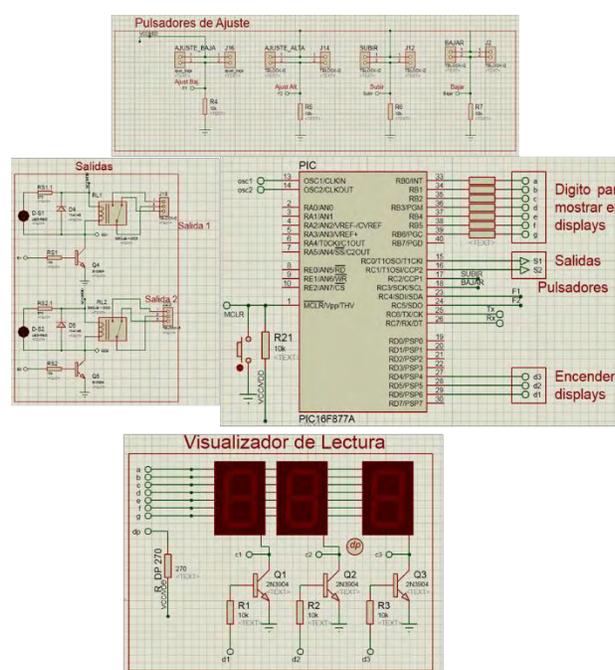


Fig. 18. Circuito para tarjeta de monitoreo/actuación para temperatura.

5 Implementación

La implementación se realizó en 4 fases.
 Construcción de las tarjetas
 Diseño de lógica de control y programación de los Pic de ambas tarjetas (Chen 2006).
 Diseño de la lógica de gestión e implantación en un diseño vía Web service sobre la Raspberry Pi (Antsaklis y col 1998, Mendoza, sf, García 1999).
 Integración y pruebas de las tarjetas diseñadas al Sistema Gestor en la Raspberry Pi.
 Pruebas vía remota, utilización de la aplicación web service desarrollada.

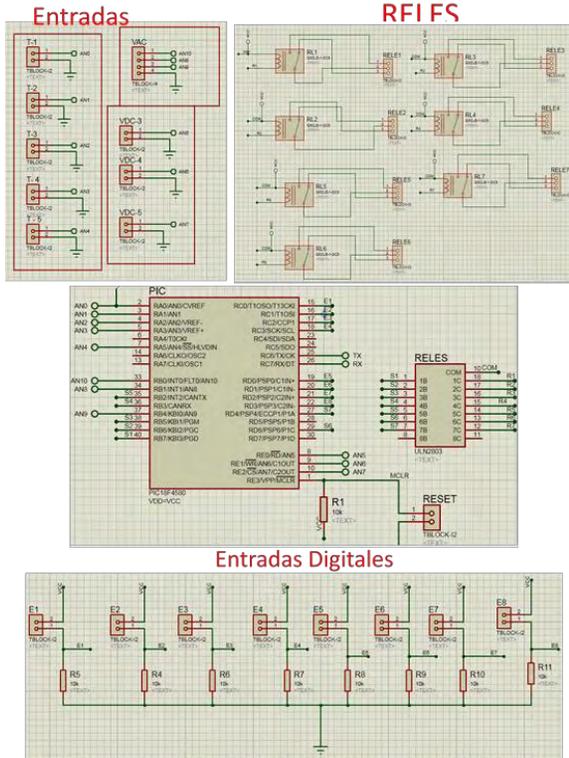


Fig. 19. Circuito para la tarjeta de monitoreo/actuación para Red AC/DC.

En la Figura 20 se muestra la tarjeta construida para el Monitoreo/Actuación para la temperatura. Todo el detalle de la lógica implementada, basada en el esquema Gemma y la programación están en (Vasquez 2016).



Fig. 20. Tarjeta de monitoreo/actuación para Temperatura.

En la Figura 21 se muestra la tarjeta construida para el Monitoreo/Actuación para la Red AC/DC. Todo el detalle de la lógica implementada, basada en el esquema Gemma y la programación están en (Vasquez 2016).

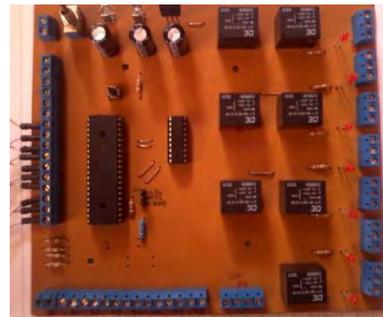


Fig. 21. Tarjeta de monitoreo/actuación para Red AC/DC

5.1 Gestor en Raspberry Pi

Raspberry Pi es una placa computadora de bajo costo desarrollada en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas. En realidad, se trata de una diminuta placa base de 85 x 54 milímetros (del tamaño aproximado de una tarjeta de crédito) en el que se aloja un chip Broadcom BCM2835 con procesador ARM hasta a 1 GHz de velocidad (modo Turbo haciendo overclock), GPU VideoCore IV y 512 Mbytes de memoria RAM (Las primeras placas contaban con sólo 256MB de RAM). Su medio de almacenamiento es una memoria SD o microSD. Su fuente de alimentación es un conector microUSB de 2000mah. Tiene un puerto de salida de video HDMI y otro del tipo RCA, minijack de audio y un puerto USB 2.0 (modelos A y A+, B dispone de dos USB y B+ y Raspberry Pi 2 disponen de 4 USB) al que podemos conectar teclado y ratón. Conexión de red, disponemos de un puerto Ethernet o un adaptador inalámbrico WiFi compatible, tal y como se muestra en la Figura 22.

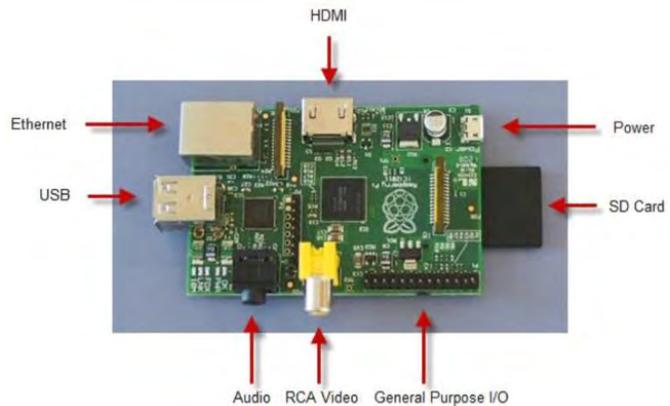


Fig. 22. Raspberri Pi.

La aplicación de Gestión para vigilancia fue desa-

rollada en JAVA, junto con HTM y JAVASCRIPT. La aplicación tiene dos caras que se integran, una hacia adentro como supervisor para los sistemas de AA y Red AC/DC y la otra cara hacia afuera como servidor web. Todo el detalle de la aplicación se encuentra en (Vasquez 2016)).

En la Figura 23, se muestra el inicio de la aplicación y en la Figura 24 una visual del sistema de vigilancia



Fig. 23. Inicio de la aplicación de vigilancia.

Con las sugerencias realizadas, y utilizando lo desarrollado vemos en la figura 24, como hay una mejora sustancial en los niveles de temperatura.

6 Conclusiones

El sistema de vigilancia presentado es un prototipo que permite el monitoreo y la supervisión de los dos sistemas críticos en la Central Merida I de CANTV.



Fig. 24. Visual via web de la aplicación de vigilancia.

Como no se obtuvieron mecanismos de vigilancia formales, se utilizó mecanismos de control supervisorio clásico con una arquitectura teleinformática básica para poder implementar el sistema de vigilancia.

A pesar de que los dispositivos de bajo costos como lo son los PIC y la Raspberry Pi, no tienen la fiabilidad de los componentes como los equipos industriales, estos pueden emular los funcionamientos de estos dispositivos.

Siendo una solución viable para este tipo de proyectos.



Fig. 24. Situación actual de la temperatura en las salas de Central Merida I.

Como se pudo observar, la Inmótica, proporciona elementos, y técnicas y descripción de equipos, como mecanismo y vía que permiten involucrar el concepto de confort, resguardo, seguridad en instalaciones de manera directa y de forma integrada, tal y como lo preestablece los procesos industriales flexible y ágiles, en donde no solo llega a el proceso sino a las instalaciones en general.

Las nuevas regulaciones a nivel laboral están motivando por un lado al ahorro energético (sobre cambio climático y conservación de los recursos naturales no renovables) y al confort, seguridad (ley del trabajo) y es la Inmótica con mecanismo del control supervisorio quienes han dado un corpus para que sea implantable de una manera integrada y confiable.

Referencias

Antsaklis PJ, Moody JO, 1998, Supervisory Control of Discrete Event System using Petri Net. Klumer Academic Publishers Alonso NO, Castro MA, 2013, Dictionary of Scientific & Technical Terms. UNED, Madrid, España.

CEDOM (Asociación Española de Domótica e Inmótica) <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-inmotica>.

Chen CT, 2006, Analog and Digital Control Systems Design. Sounders College publishing. New York, USA.

Emad A, 2002, Distributed control systems. <http://faculty.ksu.edu.sa/Emad.Ali/mylib/Workshop/DCS.pdf>.

García E, 1999, Automatización de procesos industriales. Universidad Politécnica De Valencia, Valencia, España. <http://ldc.usb.ve/~yudith/docencia/Telematica/TemasHerramientasInfor/Exposiciones/servicioswebJorge.pdf>

Úbeda 2009, Sistemas embebidos. <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf>.

Keithley Instruments Inc., IEEE-488 Interface Boards. Us-

er's Manual. Cleveland, Ohio, EEUU, 2002.

Velazquez Oscar, 2016, Diseño e Implementación de un Sistema gestor para el de Sistema de Enfriamiento y Respaldo Eléctrico en la Central Mérida I de CANTV, Proyecto de grado como Ingeniero de Sistemas

Velazquez, Oscar: *Estudiante de EISULA. Correo electrónico: ijuan@ula.ve*

Cardillo, Juan: *Ph.D. en Automatica (Université Paul Sabtier Toulouse-France), Ph. D. en Ciencias Aplicadas (Universidad de Los Andes). Integración en procesos de producción basados en enfoque holónico con implementación de modelos, Automatización Industrial, Control Supervisorio. Correo electrónico: ijuan@ula.ve*

Davila, Omar: *Ingeniero Electricista, M. Sc. en Administración mención Gerencia, Licenciado en Derecho. Supervisor del Departamento de Operaciones y Mantenimiento de Energía Central CANTV Mérida. Correo electrónico: Odavil@cantv.com.ve*

Desarrollo de un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial con redes neuronales artificiales

Espinosa Villareal; Hector¹; Ibarra Estévez, José¹; Rivas Echeverría, Franklin^{1,2*}

¹Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Ibarra, Ecuador.

²Laboratorio de Sistemas Inteligentes, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

*frivas6@gmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema basado en redes neuronales artificiales para el reconocimiento rápido de rostros y su utilización en el control de acceso. El reconocimiento facial es un tema de gran interés por su impacto y posibles aplicaciones en temas de carácter laboral, control de ingreso a espacios, seguridad ciudadana, activación y funcionamiento de equipos, entre otros. El control de acceso es una de las medidas que puede contribuir a garantizar la seguridad del personal dentro de una organización o en entornos domésticos, por lo cual es importante el uso de herramientas tecnológicas que ayuden al apropiado reconocimiento facial y automatizar los procesos de control de acceso. La inteligencia artificial ha demostrado su utilidad y aplicación en diversas áreas del quehacer cotidiano y particularmente las redes neuronales artificiales por su capacidad de aprendizaje y generalización es una técnica novedosa y con potencialidades para su uso en el reconocimiento facial. En el sistema desarrollado se utilizan las redes neuronales artificiales para el reconocimiento facial de forma rápida a través de la extracción de características tomadas de la imagen del rostro. La implementación del sistema incluye el desarrollo usando herramientas de hardware libre para la automatización del sistema de control de acceso. El sistema desarrollado fue implantado en una empresa en la ciudad de Otavalo, Ecuador, obteniéndose resultados favorables y que permiten el registro y control de acceso a los empleados y visitantes.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

El reconocimiento facial (Serratosa 2012) es un tema de gran interés por su impacto y posibles aplicaciones en temas de carácter laboral, control de acceso, seguridad ciudadana, entre otros.

Los sistemas biométricos permiten identificar a una persona mediante distintas partes del cuerpo humano (mano, ojos, rostro, dedo), claves de acceso o tarjeta, pero en varias ocasiones tanto las claves como las tarjetas son vulnerables a ultrajes o clonaciones respectivamente, a diferencia de los sistemas que se basan en biometría, que son considerados como uno de los sistemas más confiables (Motato Toro y col., 2009).

El control de acceso (Li y col., 2004) es una de las medidas que puede contribuir a garantizar la seguridad del personal dentro de una organización empresarial, por lo cual se plantea desarrollar una aplicación de control de acceso basado en tecnologías de reconocimiento facial usando sistemas inteligentes particularmente las redes neuronales artificiales.

En la investigación realizada por Romero (2016) se realizaron pruebas mediante la utilización de imágenes obtenidas desde Internet e imágenes adquiridas con la cámara web y se concluye que los resultados alcanzados demostraron que la solución computacional es bastante robusta en cuanto a rotación lateral del rostro así como también a distintos tipos de color de piel, siempre y cuando se cuente con niveles de iluminación adecuada.

En lo concerniente a sistemas biométricos son identificados principalmente por el área de reconocimiento facial, reconocimiento del iris del ojo y reconocimiento dactilar, teniendo en común el proceso de funcionamiento, que consiste en tres fases: mismos que tienen en común entrenamiento, almacenamiento y finalmente una de prueba, respectivamente (Espinosa 2001).

La inteligencia artificial ha demostrado su utilidad y aplicación en diversas áreas del quehacer cotidiano (Aguilar y col., 2001) y particularmente las redes neuronales artificiales (Hagan y col., 2014) por su capacidad de aprendizaje y generalización es una técnica novedosa y con potencialidades para su uso asociado con el reconocimiento facial. En este trabajo se pretende utilizar las redes neuronales artificiales para dicho reconocimiento facial y la adquisición de destrezas en el desarrollo de aplicaciones con esta técnica inteligente.

2 Marco Teórico

El reconocimiento facial es un área que forma parte del reconocimiento de patrones. En los últimos años ha cobrado un gran interés especialmente por la amplia gama de aplicaciones que tiene en distintos campos tales como seguridad, vigilancia, tarjetas inteligentes, entre otros.

A continuación se describirán las metodologías actualmente utilizadas para el reconocimiento facial (Blázquez

2013), citando algunas técnicas representativas de cada una de éstas. Sin embargo es importante mencionar que si bien en los últimos años se ha logrado un gran avance en el área de reconocimiento facial desarrollando técnicas más robustas que buscan solucionar problemas como cambios en iluminación, rotaciones, oclusiones, entre otros; todavía no se puede hablar de métodos para reconocimiento facial que resulten altamente confiables y tolerantes a diferentes condiciones o circunstancias de manera que asemejen el proceso de reconocimiento que lleva a cabo un ser humano. Por lo tanto algunas metodologías presentan mejores resultados bajo unas condiciones y otras bajo condiciones diferentes, lo que permite indicar que la selección de una u otra metodología y de las técnicas empleadas, está basada en los requerimientos específicos de la aplicación para la que se realiza la tarea de reconocimiento.

2.1. Metodologías para Reconocimiento facial a partir de imágenes estáticas

2.1.1. Métodos basados en características geométricas

Estos métodos están orientados a la construcción de modelos del rostro humano a partir de características geométricas (características invariantes) que permitan establecer diferencias faciales entre un rostro y otro. Los modelos pueden ir desde un conjunto de medidas antropométricas faciales tales como distancia ínter ocular, separación entre ojos y nariz, separación entre boca y nariz, tamaño de la boca, tamaño de los ojos, alto o ancho del área del rostro, entre otras medidas; hasta modelos más complejos como diagramas elásticos compuestos por nodos en puntos definidos en el rostro (ojos, nariz, contornos, entre otros). Como se puede notar uno de los pasos esenciales en estos métodos es la detección de características locales (ojos, boca, nariz, entre otras), debido a que son la base para construir el modelo del rostro. Para llevar a cabo la detección de estas características, cada una es considerada como un nuevo patrón (con sus propias particularidades). Una de las metodologías más comúnmente utilizadas con este fin es la de correspondencia.

Una vez construido el modelo del rostro, métodos estadísticos o redes neuronales, generalmente son empleados para determinar la identidad de la persona en base al modelo creado y sus componentes.

Los métodos basados en características geométricas suelen ser menos afectados por cambios de iluminación en las imágenes lo que constituye una ventaja, sin embargo presentan menor tolerancia a cambios de expresión facial y la construcción de los modelos puede ser difícil y costosa a nivel computacional.

2.1.2. Métodos holísticos o basados en la imagen

Son métodos conceptualmente relacionados con el uso de plantillas, tratan de identificar los rostros usando representaciones globales. Es decir, consideran a la imagen del

rostro como un todo por lo tanto no trata de analizar su contenido sino que extraen características relevantes de la región completa.

Una vez que han sido extraídas las características del área del rostro, al igual que en los métodos basados en características geométricas se puede utilizar métodos estadísticos o redes neuronales para llevar a cabo el reconocimiento en sí. Este tipo de métodos son utilizados habitualmente en imágenes de baja resolución.

2.1.3. Métodos híbridos

Combinan aspectos de los métodos anteriores. Si se considera que los métodos holísticos y los basados en características geométricas tienen ventajas y desventajas con respecto al otro, el combinarlos se puede lograr mejores resultados.

En este trabajo se utilizará uno de los métodos basados en características geométricas y a partir de allí se usará una red neuronal artificial para el reconocimiento facial.

3 Procedimiento Experimental

En este trabajo se utilizará uno de los métodos basados en características geométricas

Para la construcción del prototipo; se realizó una investigación sobre los fundamentos teóricos tanto de redes neuronales artificiales, reconocimiento facial, control de acceso, herramientas computacionales disponibles. La metodología usada está basada en la metodología para el desarrollo de sistemas inteligentes e Ingeniería de Software (Aguilar y col., 2001).

En lo referente a los materiales y equipos utilizados se puede mencionar en primer lugar a la Webcam Microsoft LifeCam Studio 1080p HD como se muestra en la Fig. 1, la cual es encargada de obtener video al momento de hacer el reconocimiento facial.



Fig. 1.-Webcam Microsoft LifeCam Studio 1080p HD
Fuente: <https://www.microsoft.com/accessories/en-us/products/webcams/lifecam-studio/q2f-00013>

El siguiente es una Notebook HP como se muestra en la figura 2, el cual es el encargado de alojar el sistema DataControlAcces.



Fig. 2. Notebook HP

Fuente:

<http://store.hp.com/webapp/wcs/stores/servlet/ContentView?eSpotName=Stream11&storeId=10151>

Arduino mega 2560, como se muestra en la Fig. 3, el cual es el encargado de guardar la programación que interactúa con la cerradura eléctrica.



Fig. 3. - Arduino mega 2560

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Módulo de relés de 4 canales para Arduino como se muestra en la Fig. 4, el cual es el encargado de conmutar cargas de corriente alterna conectada a la red eléctrica.



Fig. 4.- Módulo de rele de 4 canales

Fuente: <http://dinastiaticologica.com/producto/modulo-rele-de-4-canales-arduino/>

Cerradura eléctrica viro de 12v como se muestra en la Fig. 5, la cual es la encargada de aperturar la puerta.



Fig. 5.- Cerradura eléctrica viro

Fuente:

http://viro.it/Pagine/5.SERRATURE_E_INCONTRI_ELETRICI/SERRATURE_ELETRICA_V97_APERTURA_ESTERNO/Serratura_Elettrica_V97_APERTURA_ESTERNOES.asp

Transformador como se muestra en la Fig. 6, el cual es el encargado de convertir una entrada de 110V a 12V que es lo que recibe la cerradura eléctrica.



Fig. 6.- Transformador

Fuente: <http://www.kywi.com.ec/ventas-ibarra>

Fuente de poder como se muestra en la Fig. 7, el cual es el encargado de recibir 110V y enviar 5V, con la finalidad que no exista sobre carga de voltaje.



Fig. 7.- Fuente de poder

Fuente: <http://www.empretel.com.mx/42-fuentes-poder>

Cortapico como se muestra en la Fig. 8, el cual es el encargado de proporcionar 6 tomas eléctricas.



Fig. 8.- Cortapico

Fuente: <http://www.radioshackecuador.com.ec/index.php/productos-accesorios/otros/cortapicos-apc-p62-6-tomas-cable-2ft-120v-detail>

4 Diseño y desarrollo del Sistema de reconocimiento facial basado en redes neuronales

El Sistema empieza con el registro de los usuarios, esto se realiza en presencia del administrador del sistema, el cual es el encargado de realizar el ingreso de cada usuario, asignándole una contraseña de identificación, la cual se almacena en la base de datos MySQL, y cada vez que un usuario se autentifique, necesitará ingresar la contraseña asignada para iniciar el proceso de reconocimiento facial.

La comunicación cliente, servidor es de manera direc-

ta, mientras que la comunicación entre el servidor y el sistema es como se indica en la Fig. 9.

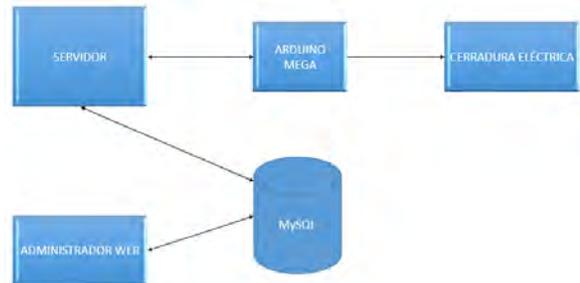


Fig. 9.- Comunicación entre interfaces

Fuente: Elaboración propia

El sistema empieza al momento que el usuario ingresa su contraseña de identificación, si es la correcta permite mostrar la pantalla de reconocimiento facial para que el usuario seleccione la opción de iniciar, e inmediatamente inicia el proceso de reconocimiento facial, en caso de ser exitoso el reconocimiento facial, el sistema envía el número de usuario a la base de datos y se encarga de registrar la hora y fecha proveniente del reloj en tiempo real y finalmente el sistema envía al Arduino una señal lógica e interactúa con la cerradura eléctrica para permitir el acceso.

El sistema propuesto consiste en que el usuario tenga acceso a las instalaciones únicamente digitando la clave personal y seguido a esto en caso de ser correcta, colocar el rostro a la webcam para poder acceder. Y posterior a esto se abrirá de manera automática la puerta. Cada día la tecnología avanza a pasos agigantados, razón por la que se debe utilizar tecnología con la finalidad, de que no sea obsoleto el sistema al pasar unos cuantos meses desde su implantación, hay que tomar en cuenta la ventaja que hoy en día se tiene, que es tener a disposición la herramientas informáticas así como también el internet, que son de gran ayuda para llegar a culminar con éxito el presente sistema.

Por lo que se propone un sistema de control de acceso por reconocimiento facial con la particularidad de que se utilizaran redes neuronales artificiales para tomar una decisión de si es o no es el usuario que dice ser.

El proceso de control de acceso se realizará de manera automática, siendo necesario que el usuario presente el rostro a la webcam para que posteriormente se proceda al reconocimiento facial utilizando la red neuronal artificial.

La comunicación física entre el sistema con el arduino es por conexión serial, mientras que para la comunicación lógica del sistema con el arduino se realiza mediante comunicaciones RX (Envío) y TX (Recepción).

La comunicación cliente, servidor será de manera directa, mientras que la comunicación entre el servidor y el sistema será como se indica en la Fig. 10.

En la Fig. 11 se puede observar las conexiones entre cada uno de los componentes físicos del sistema de control de acceso basado en redes neuronales artificiales.

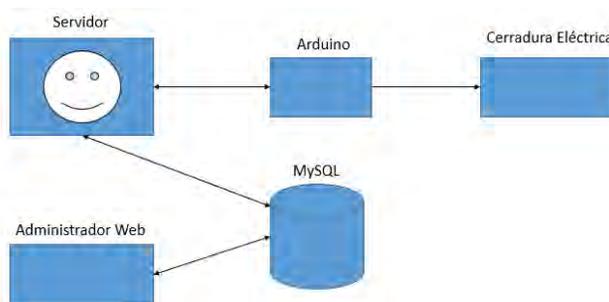
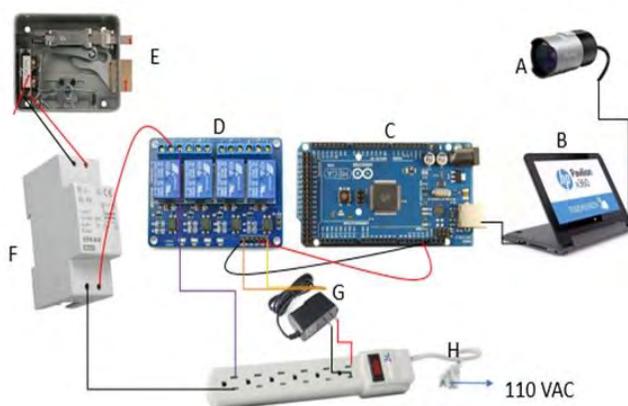


Fig. 10. Comunicación entre interfaces
Fuente: Elaboración propia



- A. - Webcam Microsoft LifeCam Studio 1080p HD. - Se encarga de obtener video al momento de hacer el reconocimiento facial.
- B.- Notebook HP.- Aloja el sistema DaxaControlAcces, es decir hace las veces de servidor.
- C.- Arduino mega 2360.- Guarda la programación que interactúa con la cerradura eléctrica.
- D.- Módulo de relays de 4 canales para Arduino.- Actúa como un control de voltaje.
- E.- Cerradura eléctrica viro de 12v.- Es la encargada de quitar la traba de la puerta y aperturar la misma
- F.- Transformador.- Convierte una entrada de 110v a 12V que es lo que recibe la cerradura eléctrica
- G.- Fuente de poder.- Se encarga de recibir 110V y enviar 5V, con la finalidad que no exista sobre carga de voltaje.
- H.- Cortapico.- Proporciona 6 tomas eléctricas.

Fig. 11. Conexiones del Sistema
Fuente: Elaboración propia

La Fig. 12 ilustra el esquema de las actividades llevadas a cabo para el control de acceso diseñado.



Fig. 12. Diagrama lógico de la capa de datos
Fuente: Elaboración propia

Este sistema fue implantado en la empresa Daxadanef Cía. Ltda., ubicada en la ciudad de Otavalo en Ecuador, con

resultados altamente satisfactorios ya que permite el acceso automático a los empleados de la empresa, permite un registro de ingresos y egresos de la compañía e igualmente permite monitorear el intento de ingreso por personas desconocidas o no autorizadas a las instalaciones de la empresa.

5 Conclusiones

Con el desarrollo del control de acceso basado en reconocimiento facial mediante el uso de redes neuronales artificiales, se tiene un mayor control en el acceso a la empresa debido a que accede al reconocimiento facial una vez que se ingrese correctamente la contraseña del usuario, misma que es generada por el sistema de forma automática, esto hace que el sistema sea más confiable.

El uso del sistema de acceso biométrico basado en el reconocimiento facial, permite que se monitoree las fechas y horas de ingreso, a través de reportes generados por el sistema.

El sistema de control de acceso presentado es poco invasivo al usuario, dado que sólo tiene que acercar el rostro a la cámara y el sistema se encarga del reconocimiento de usuario.

Este sistema permite mejorar la seguridad del personal, ya que garantiza que sólo las personas autorizadas podrán acceder a las instalaciones de la empresa.

Se recomienda continuar la investigación utilizando otras técnicas inteligentes o híbridas, buscando nuevas alternativas de reconocimientos faciales de forma rápida.

En el diseño se puede colocar sistemas adicionales de seguridad como puede ser el registro de un usuario y envío de señal de alarma cuando un usuario intente ingresar un número de veces una clave incorrecta o cuando el sistema de reconocimiento facial no logre clasificar al usuario.

Referencias

- Aguilar J, Rivas F, 2001, Introducción a las técnicas de computación inteligente. Merida: Meritec.
- Blázquez L, 2013, Reconocimiento Facial Basado en Puntos Característicos de la Cara en entornos no controlados (tesis de grado). Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Espinosa Duró V, 2001, Evaluación de Sistemas de Reconocimiento. JCEE.
- Hagan M; Demuth H; Beale M, De Jesús O, 2014, Neural Network Design. 2nd Edition. USA.
- Li S, Jain A, 2004, Handbook of Face Recognition. Springer Edition. USA
- Motato Toro ÓF, Loaiza Correa H, 2009, Identificación biométrica utilizando imágenes infrarrojas de la. Revista Ingenieria Investigacion.
- Romero K, 2006, Reconocimiento de rostros en tiempo real utilizando una red neuronal (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Serratos F, 2012, La biometría para la identificación de las personas. Editorial UOC. España.

Espinosa Villareal, Hector: Ingeniero en Sistemas egresado de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. Correo electrónico: heespinosa@pucesi.edu.ec

Ibarra Estévez, José: Ingeniero en Sistemas egresado de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. Magister en Tecnologías para la Gestión y Práctica Docente. Correo electrónico: jlibarra@pucesi.edu.ec.

Rivas Echeverría, Francklin: Ingeniero de Sistemas egresado de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes. Magister en Ingeniería de Control. Doctor en Ciencias Aplicadas.

XMLibc: Integración de documentos XML en bases de datos relacionales

Grimaldos, Nelson; Besembel, Isabel*

GIDyC, Departamento de Computación, Escuela de Sistemas,
Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

[*ibc@ula.ve](mailto:ibc@ula.ve)

Resumen

En bases de datos semi-estructuradas, las relaciones entre objetos e instancias no son estrictas, lo que permite una visión más libre y apegada a la realidad; actualmente el lenguaje adoptado para la representación de este tipo de datos semi-estructurados es XML (eXtensibleMarkupLanguage). Es natural intentar mezclar los conceptos de bases de datos relacionales y bases de datos semi-estructuradas, pero el trabajo que esto implica propone varios retos. Este trabajo se fundamentó en la necesidad de integrar diversas fuentes de datos semi-estructurados a través de la extensión de tipos de datos nativos XML de un Sistema Manejador de Bases de Datos Relacionales (SMBDR). Como caso de prueba se toma el SMBDR PostgreSQL, entre otros motivos para garantizar que este aporte pueda ser accesible para el que lo necesite, dadas las facilidades de extensión que provee la ideología del código abierto, además que ya tiene un soporte básico para datos expresados en XML, que adolece de la integración de distintas fuentes de información. En este trabajo se propone la creación de una biblioteca llamada XMLibc que provee una extensión del núcleo de funciones para manejar documentos XML en PostgreSQL, que permite reconocer e integrar distintas fuentes de información. Para ello se implementaron los algoritmos de distancia de edición de árboles, algoritmos heurísticos extendidos basados en la distancia de edición de cadenas o medida de Levenshtein y se definió como meta la generación de un algoritmo que permite la integración de diferentes documentos XML con un mismo esquema. XMLibc contiene la implementación de este algoritmo para reconstrucción de árboles de documentos XML que posean toda la información de los documentos involucrados, soportando así un conjunto de documentos XML como una sola base de datos y no como bases de datos aisladas, que es como funciona de manera nativa.

ISBN: 978-980-11-1858-9



1 Introducción

El lenguaje XML es ampliamente reconocido como el estándar del futuro para el intercambio de información, particularmente por su habilidad de representar datos de una amplia variedad de fuentes. XML es esencialmente una representación textual y jerárquica de la información, donde una pieza significativa de datos procesados es ligada por etiquetas coincidentes, tales como `<nombre>` y `</nombre>`. Por ello, XML está llamado a ser el lenguaje donde es posible integrar información de múltiples orígenes (Guha y col., 2002).

El marcado XML describe la estructura de un documento y su significado (Harold 1999). Investigaciones acerca de las similitudes entre documentos semi-estructurados (especialmente para documentos XML) ha producido muchos trabajos en el área de bases de datos, inteligencia artificial y minería de datos (Gonçalves 2006).

Los Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionados (SGBDR) continúan siendo el mecanismo más utilizado para el almacenamiento, procesamiento y manipulación de información. Aunque los sistemas de bases de datos nativos en XML son desarrollados cada vez más, esto no previene ni ralentiza la creciente necesidad de manejar documentos XML dentro de los SGBDR. Por la popularidad de ambos mecanismos de manejo de datos y dada la naturaleza específica de los SGBDR de abstraer la información en campos donde estos corresponden a tipos de datos bien delimitados, es atrayente extenderlos para soportar el almacenamiento y manipulación de Bases de Datos Semi-estructuradas (BDSE) a través de tipos de datos o campos XML.

El lenguaje XML se adapta bien al paradigma de orientación por objetos mas no se adapta al modelo relacional. Para permitir operaciones en documentos XML, los sistemas de bases de datos tienen que ser extendidos con habilidades especiales. Usualmente, las necesidades para el soporte de XML aparecen en los procesos de integración de varios sistemas. El estándar SQL/XML define el concepto de integración de modelos de datos, las funciones SQL/XML proveen facilidades para publicar información relacional existente en formato XML. Las mismas funciones pueden ser usadas para trabajar con información XML dentro de las bases de datos relacionales (Samokhvalov 2007).

Lo que se busca a través de este trabajo es ayudar a alcanzar un mayor grado de integración de XML y SGBDR para proveer la habilidad de trabajar con ambos mecanismos de almacenamiento de una manera conjunta, en este sentido, se propone mejorar la indexación de los documentos XML y se toma como SGBDR a la segunda alternativa más popular de código abierto, PostgreSQL, que desde una perspectiva basada únicamente en funcionalidad es considerado la mejor opción (Training 2011).

Existe actualmente gran interés para procesar información XML "al vuelo", en lugar de construir primero una representación interna de la información y posteriormente na-

vegar esta representación (Agarwal y col., 2007). Además, tiene la ventaja de que el procesamiento puede realizarse en conjunto con la lectura de la información de entrada. En lugar de leer la entrada completa en memoria principal, solamente lee las partes de la entrada que son realmente relevantes para la tarea de procesamiento que necesitan ser almacenadas en memoria.

Un punto de partida para realizar proyectos en BDSE XML en PostgreSQL está embebido en el módulo (`contrib/xml2`) y cumple con el estándar SQL/XML (Samokhvalov 2007).

Existen varias técnicas para la unión de documentos XML que deben ser consideradas, aquella basada en índices como es el caso de (Guha y col., 2002) donde proponen modificaciones sobre la estructura básica de los árboles-R. Otros métodos de indexación están basados en la estructura del documento XML, tal es el caso de (Zou y col., 2004, Agarwal y col., 2007, Rizzolo y col., 2005, Zhang y col., 1989, Viyanon y col., 2008, Bertino y col., 2004); todos mantienen en común la unión de los documentos teniendo en cuenta su forma para realizar comparaciones basados en el orden en que deberían encontrarse las etiquetas dentro de cada documento individual.

El objetivo final de este trabajo es desarrollar una biblioteca en lenguaje C para el SGBDR PostgreSQL que permita integrar información de diversos orígenes, la cual lleva por nombre XMLibc y cuyo módulo de integración de fuentes semi-estructuradas tiene como base los fundamentos de algoritmos para árboles, en particular la distancia de edición de árboles y el algoritmo propuesto en (Zhang y col., 1989), que aborda el problema de calcular la similitud entre árboles bajo varias medidas de distancia.

Este trabajo utiliza técnicas de mezcla de documentos XML, tanto a nivel de índices como a nivel de estructura, en los trabajos evaluados y que se mencionan en este apartado el uso de medidas de distancia de edición entre árboles es un recurso común y casi obligatorio para los mecanismos que utilizan índices.

XMLibc para generar el documento XML mezclado una vez realizada la evaluación de distancias utiliza búsqueda de caminos y se desechan conjuntos de nodos no significativos, ambas técnicas son utilizadas en la indexación "al vuelo".

Los trabajos existentes en materia de XML en PostgreSQL fueron el punto de partida para la ejecución de este trabajo aprovechando muchas de las facilidades que estos proporcionan, como lo son: el soporte de campos XML y el uso interno de bibliotecas para el manejo de este tipo de datos.

Para conseguir el objetivo de este trabajo se implementaron los algoritmos de distancia de edición de árboles, algoritmos heurísticos extendidos basados en la distancia de edición de cadenas o medida de Levenshtein y la implementación de un algoritmo para reconstrucción de árboles de documentos XML que posean toda la información de los documentos involucrados.

El resto de este artículo está organizado como sigue: la sección 2 presenta el algoritmo de edición de árboles, la sección 3 está dedicada al guion de edición, mientras que la secciones 4 y 5 se abocan a la integración y pruebas del algoritmo propuesto y a la descripción de los resultados y conclusiones, respectivamente.

2 Distancia de edición de árboles

El algoritmo utilizado para el desarrollo de la función de unión de los documentos XML se basa aquel propuesto en (Zhang y col., 1989), el cual permite medir la distancia de edición de árboles, además proporciona un guion o una serie de pasos que se deben seguir para transformar un árbol (representación de un documento XML) en otro. El algoritmo 1 para el cálculo de la distancia de edición de árboles arranca buscando una correspondencia o similitud entre nodos de dos árboles cualesquiera que se estén comparando, y con ello, calcula la secuencia de menor costo computacional de operaciones permitidas por el algoritmo (insertar, eliminar y re-etiquetar nodos) que se requieren para convertir uno de estos árboles en el otro. Lo que se busca es aplicar este algoritmo para realizar la unión en pares de documentos XML que poseen cierta correspondencia. En el bucle principal se realiza el pre-procesamiento del algoritmo, el cual incluye las acciones de seleccionar los nodos de los árboles que necesiten procesos de cómputo independiente, estos nodos son conocidos como raíces claves y están conformadas por un conjunto que incluye la raíz y todos los nodos que contengan al menos un hermano izquierdo, es necesario mantener estos nodos en un arreglo. Otra acción que se debe realizar durante la etapa de pre-procesamiento es obtener los descendientes más a la izquierda de cada subárbol y almacenarlos en una estructura de datos de acceso rápido; posteriormente se evalúa el cómputo de la distancia sobre los subárboles que son definidos por las raíces claves, y dado que el algoritmo de distancia de edición de árboles utiliza técnicas de programación dinámica, el mismo reutiliza los resultados obtenidos de cálculos previos (abajo hacia arriba) y devuelve el resultado final en la evaluación de las dos raíces de los árboles que se estén comparando (Zamboulis y col., 2004).

Los cálculos en los nodos que definen los subárboles dividen estos árboles en arborescencias, calculan la distancia entre estas arborescencias y comparan con los valores que se tenían de árboles más viejos y con los valores de arborescencias de mayor jerarquía para finalmente, determinar el nuevo valor de la distancia que se corresponde con el de menor costo como se muestra en el algoritmo 2.

La base del algoritmo de mezcla de documentos XML se encuentra en el guion de edición que es devuelto por el algoritmo que calcula la distancia entre árboles, sin embargo, éste algoritmo proporciona unos parámetros para transformar un árbol en otro, no para mezclarlos.

Algoritmo 1. Cálculo de la distancia de edición de árboles

PARÁMETROS DE ENTRADA Árboles T_1 y T_2
 VALORES DE RETORNO Distancia de edición de árboles(i, j), donde $1 \leq i \leq |T_1|$ y $1 \leq j \leq |T_2|$
 1: preprocesamiento() {Cálculo de raíces clave, descendientes hojas más a la izquierda e inicio de arreglos}
 2: BUCLE {Bucle principal}
 3: PARA $i \leftarrow 1$ a $|KeyRoot(T_1)|$ HACER {KeyRoot(T_1): raíz clave T_1 }
 4: PARA $j \leftarrow 1$ a $|KeyRoot(T_2)|$ HACER
 5: treedist(i, j)
 6: FIN PARA
 7: FIN PARA
 8: FIN BUCLE
 9: DEVOLVER tdist[i][j] {tdist[i][j]: Distancia entre el subárbol i y el subárbol j }

Algoritmo 2. Cálculo de la distancia de edición en arborescencias

PARÁMETROS DE ENTRADA Índices de los subárboles i y j
 1: PARA TODO i' en LMLD(i) HACER {LMLD(i): Descendiente más a la izquierda del subárbol definido por T_i }
 2: fdist[i'][0] \leftarrow fdist[$i'-1$][0] + c {fdist[i'][j']: Distancia en el subárbol definido por i' y j' ; c: Costo de una operación}
 3: FIN PARA
 4: PARA TODO j' en LMLD(j) HACER
 5: fdist[0][j'] \leftarrow fdist[0][$j'-1$] + c
 6: FIN PARA
 7: PARA TODO i' en LMLD(i) HACER
 8: PARA TODO j' en LMLD(j) HACER
 9: SI LMLD(i') = LMLD(i) \wedge LMLD(j') = LMLD(j) ENTONCES
 10: fdist[i'][j'] \leftarrow menor costo
 11: EN CASO CONTRARIO
 12: fdist[i'][j'] \leftarrow condiciones iniciales
 13: FIN SI
 14: FIN PARA
 15: FIN PARA

La estructura del árbol se modificó para almacenar un apuntador al nodo padre original y un apuntador al nodo con el que se corresponde (de existir alguno) en el árbol contra el que se está calculando la distancia de edición (y el guion de edición), a este último apuntador se le nombró apuntador gemelo, el mismo es asignado cuando el menor costo conseguido de la evaluación de una distancia de subárboles se corresponde a tomar la acción de re-etiquetar el nodo, esta acción implica que la etiqueta del nodo es la misma o que posee una estructura lo suficientemente similar como para considerarse el mismo nodo en árboles distintos. En el algoritmo 3 se describe el momento en que se asigna el apuntador y las restricciones que fueron necesarias implementar para su correcto funcionamiento.

Se utiliza una condición adicional para realizar la asignación del apuntador gemelo y es que sólo es de interés marcar aquellos nodos que se refieren a contenido, ya que como es usual dentro de las bases de datos semiestructuradas que constituyen los documentos XML, las etiquetas se repiten en varios puntos de un mismo documento, además existe la pre-condición de que los documentos que se quieren fusionar deben poseer el mismo esquema XML, por lo tanto, un nodo etiqueta podrá tener muchos apuntadores gemelos lo cual no proporciona información relevante al momento de realizar la unión de los documentos.

Algoritmo 3. Asignación del apuntador gemelo de un nodo

```

1: SI tipoNodo(nodoDest) = CONTENIDO_XML ENTONCES
2: Gemelo(nodoDest) ← nodoOrig {twin: Apuntador al gemelo de un
nodo
3: nodoOrig → twin ← nodoDest
4: FIN SI

```

2.1 Distancia de Levenshtein

Para realizar la comparación de etiquetas, el algoritmo original para el cálculo de distancia de edición de árboles utiliza comparaciones de igualdad perfecta, sin embargo, esto evita hacer una correspondencia entre contenidos que pudieran ser los mismos, pero con diferencias en errores mínimos de transcripción, como por ejemplo la falta de una letra en el título de un libro, es decir, un libro registrado como “Don Quijote de la Mancha” produce la suposición fundamentada de decir que es el mismo libro que uno registrado como “Don Qijote de la Mancha”, entonces, dado que la comparación directa de cadenas no proporciona la información suficiente para evaluar estos casos, se hizo uso de un algoritmo para medir la distancia de edición de cadenas, específicamente, el algoritmo conocido como distancia de Levenshtein. La distancia de Levenshtein fue implementada por Vladimir Levenshtein a mediados del siglo XX (González, 2008) y la finalidad es la de calcular la diferencia referida como distancia entre dos secuencias de símbolos. La distancia de Levenshtein entre dos secuencias X y $Y \in C^*$ en los que $n = |X|$ y $m = |Y|$, se define como $D(X, Y) = n + m - 2S(X, Y)$, donde $S(X, Y)$ es la similitud entre el par X y Y , y la misma se refiere a la cantidad de operaciones de edición de cadenas necesarias para convertir la cadena X en la cadena Y . Estas operaciones son: insertar símbolo y borrar un símbolo; siendo el re-etiquetar un símbolo la ejecución combinada de estas acciones; el cálculo de la distancia de Levenshtein se puede apreciar de manera más detallada en el algoritmo 4.

La métrica de Levenshtein por sí sola no produce los cambios necesarios para realizar la comparación, por lo que se utilizó un rango de aprobación que determina el costo de re-etiquetar un nodo, si el costo entra dentro de este rango entonces se asume que las cadenas son lo suficientemente similares para ser re-etiquetadas.

El costo asociado a re-etiquetar un nodo se debe incrementar en uno por cada vez que el rango definido se encuentre dentro del porcentaje total que necesite ser cambiado de la cadena, el rango actual dentro de la biblioteca está fijado en diez por ciento, lo que implica que, si para transformar una cadena en otra se necesita cambiarla por completo (cien por ciento) el costo de esta acción será de diez (se suma un costo por cada diez por ciento de la cadena que necesite ser cambiado) $\text{intervalo} \leftarrow 0 \leq \text{Lev} \times 100 \div (\text{len}(a) + \text{len}(b)) \leq 100$ y por último, si el costo de re-etiquetar es igual a cero, no se agrega la acción al guion de edición para reducir los tiempos de ejecución, ya que re-etiquetar un nodo por otro con la misma etiqueta es innecesario y suma un

tiempo que puede ser fácilmente evitado, sin embargo, el algoritmo de marcado de los apuntadores gemelos sí continúa ejecutándose, ya que se necesita saber que ese contenido se encuentra en ambos árboles.

Algoritmo 4. Métrica de Levenshtein

```

1: PARA i ← 0 a n HACER
2:   Si,0 ← 0
3: FIN PARA
4: PARA j ← 0 a m HACER
5:   S0,j ← 0
6: FIN PARA
7: PARA i ← 0 a n HACER
8:   PARA j ← 0 a m HACER
9:     SI xi = yj ENTONCES
10:    Sij ← Si-1,j-1 + 1
11:   DE LO CONTRARIO
12:    Sij ← máx(Si-1,j, Si,j-1)
13:   FIN SI
14: FIN PARA
15: FIN PARA
16: DEVOLVER n + m - 2Sn,m

```

3 Guion de edición

Se parte del principio en el cual el guion que devuelve la distancia de edición de árboles es correcto y que seguir este guion lleva a convertir inequívocamente un árbol T1 en un árbol T2. En un primer enfoque se siguió todo el guion de edición y se almacenaban los nodos o subárboles sobre los que se ejecutaba la acción de eliminar tanto para el árbol T1 como para el árbol T2 al realizar la transformación. Para terminar de recorrer el guion se anexaban estos árboles según el padre que tenían al iniciar la juntura como se muestra en la figura 1, pero este procedimiento además de no ser óptimo (lo cual se hace obvio una vez implementado el enfoque siguiente) produce incongruencias para documentos XML, debido a que una misma etiqueta podía aparecer varias veces dentro del documento (lo que es perfectamente válido en un documento XML) provocando pérdidas de información.

Desde este primer enfoque ya se nota la necesidad de mantener campos en la estructura, que almacenen los nodos padres de un subárbol dentro del árbol original, para poder localizarlos en el árbol resultante (luego de la transformación), también se hace obvia la necesidad de identificar cuándo un nodo del árbol T1 se corresponde con otro nodo del árbol T2, para evitar insertar el mismo nodo dos veces en el árbol resultante y provocar redundancia de datos.

Al refinar esta aproximación a la solución que se propone en este trabajo, se evitó seguir las acciones de eliminación dentro del guion que se refieran al árbol T1 como se nota en la figura 2, ya que éste contendrá los árboles mezclados y no hay necesidad de eliminar un subárbol que va a ser insertado nuevamente en pasos posteriores.

Para un tercer enfoque se tomó un camino completamente distinto y en lugar de seguir el guion de edición por completo, éste se recorre, pero solamente las acciones de re-etiquetar son consideradas, de manera que al finalizar de

recorrer el guion se tiene el árbol destino re-etiquetado, pero con su estructura original; decidir cuál de las etiquetas es la correcta, si la del árbol original o la del árbol destino es irrelevante y por convención se tomó siempre la del árbol original, lo cual no afecta el resultado final.

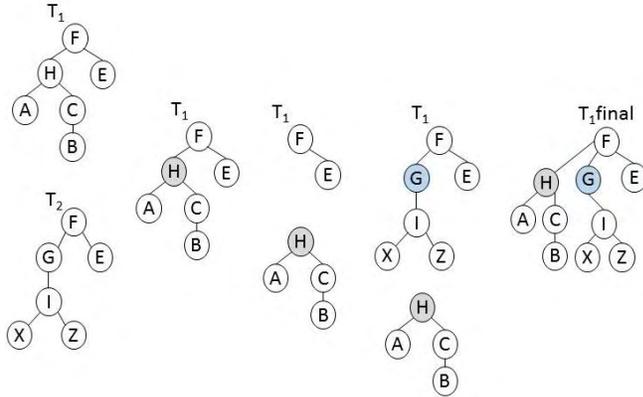


Fig. 1. Primer enfoque para obtener la mezcla de documentos.

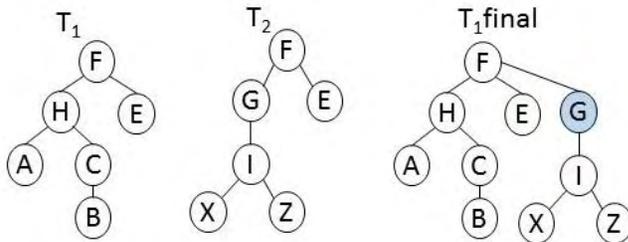


Fig. 2. Segundo enfoque para obtener la mezcla de documentos.

Una vez culminado el proceso de re-etiquetar se sigue un algoritmo que se ha llamado “recorrido de gemelos” que se puede ver en algoritmo 5, el mismo hace uso de apuntadores a las correspondencias de un nodo con otro, sin embargo, no son los nodos con correspondencias los que son de interés, sino su complemento, es decir, aquellos que no se encuentran en ambos árboles, sino en uno sólo. El procedimiento consigue estos nodos, identifica su posición dentro del árbol destino y lo inserta a él y a sus descendientes en la posición correcta, el procedimiento se representa gráficamente en la figura 3, cabe destacar que se asume que el esquema XML de ambos árboles es similar, para evitar tratar el mismo nodo durante el recorrido se utiliza una marca de “tratado” reduciendo de esta manera el tiempo promedio de ejecución.

Algoritmo 5. Recorrido de gemelos

PARAMETROS DE ENTRADA raíz T₁
 1: SI Gemelo(raíz) ∧ tipoNodo(raíz) = CONTENIDO_XML ENTONCES
 2: loc ← PuntoDeInsercion(raíz)
 3: Insertar(raíz, loc)
 4: FIN SI
 5: PARA TODO hermano en Hermanos(raíz) HACER
 6: SI Manejado(Padre(hermano)) ENTONCES
 7: SALIR
 8: FIN SI
 9: SI Manejado(hermano) ENTONCES
 10: CONTINUAR
 11: FIN SI
 12: TwinTraverse(hermano)
 13: FIN PARA

La ubicación en el árbol destino realiza un recorrido ascendente recursivo para encontrar un nodo que posea una correspondencia en el árbol destino, o en caso de no conseguir tal nodo se creará una arborescencia como se muestra en el algoritmo 6, sin embargo, dada la restricción de similitud en la estructura de los documentos es evidente que al menos la raíz debería existir en ambos árboles.

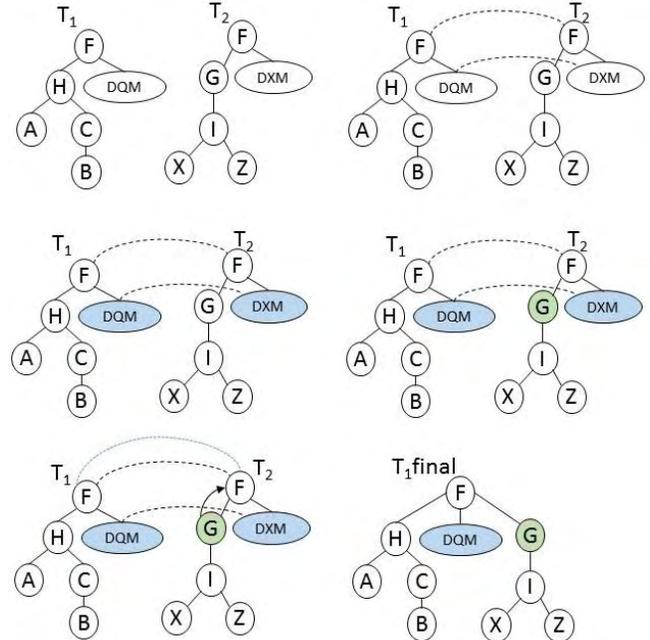


Fig. 3. Enfoque final para obtener la mezcla de documentos.

El resultado obtenido de realizar estas funciones es la modificación del árbol T1 con los contenidos de ambos árboles o documentos XML, sin pérdida de información y sin redundancia de datos.

Algoritmo 6. Ubicar punto de inserción

PARÁMETROS DE ENTRADA raíz T₁
 VALORES DE RETORNO Ubicación del nodo en el árbol destino
 1: SI Gemelo(Padre(raíz)) ENTONCES
 2: Manejado(raíz) ← CIERTO
 3: DEVOLVER Gemelo(Padre(raíz))
 4: FIN SI
 5: PARA TODO hermano en Hermanos(raíz) HACER
 6: Manejado(raíz) ← CIERTO
 7: SI Gemelo(hermano) ENTONCES
 8: padre ← Padre(Gemelo(hermano))
 9: SALIR
 10: FIN SI
 11: SI Padre(Padre(Gemelo(Hijo(hermano)))) ENTONCES
 12: padre ← Padre(Padre(Gemelo(Hijo(hermano))))
 13: SALIR
 14: FIN SI
 15: FIN PARA
 16: SI padre entonces
 17: Manejado(raíz) ← cierto
 18: DEVOLVER padre
 19: FIN SI
 20: DEVOLVER LocateInsertPoint(Padre(raíz))

4 Integración y pruebas

Si bien el algoritmo de mezcla de documentos XML se implementó de tal manera que pueda ser fácilmente separado del proyecto principal de integración con PostgreSQL, y utilizado como una biblioteca independiente en programas en lenguaje C, no es éste el objetivo principal de este trabajo, por lo que los algoritmos bases explicados en la sección anterior se extendieron para ser utilizados en campos XML dentro de entidades de PostgreSQL.

Se puede ver en la figura 4 la estructura de la biblioteca XMLibc a través del diagrama de clases UML (*UnifiedModellingLanguage*), que muestra el diseño del núcleo para el cálculo de la distancia de edición de árboles.

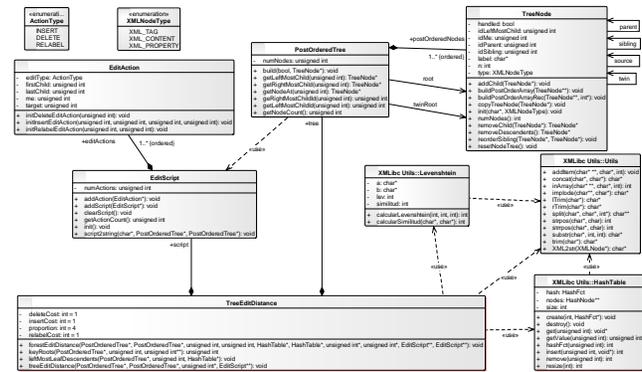


Fig. 4. Diagrama de clases para calcular la distancia de edición de árboles

En el diagrama de clases de la figura 5 se despliega la biblioteca de utilidades diseñada para la XMLibc, que mantiene aquellas clases de soporte para las clases utilizadas en el algoritmo de edición de árboles. Finalmente, en la figura 6 se muestran aquellas clases necesarias para el algoritmo de mezcla y la extensión del mismo que provee soporte al PostgreSQL.

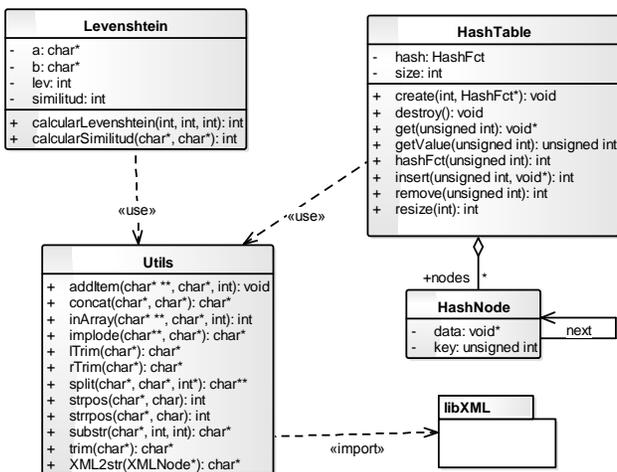


Fig. 5. Diagrama de clases de la biblioteca XMLibc.

La función de unión de documentos XML se muestra en el algoritmo 7, el cual recibe dos parámetros de entrada: la entidad y el campo que contienen los documentos XML que deben ser mezclados; una vez obtenidos estos, se reali-

za un bucle simple que itera sobre todos los documentos y va realizando la fusión dos documentos a la vez, manteniendo siempre el resultado de la mezcla para fusionarlo con el documento siguiente. PostgreSQL necesita que la función sea registrada en las bases de datos que la utilizarán y solo se necesita conocer la ruta a la biblioteca, el nombre de la función y los parámetros de entrada, para luego hacer uso del comando CREATE FUNCTION de PostgreSQL y registrarla como se muestra en el algoritmo 8; una vez registrada la función puede utilizarse con el comando SQL, SELECT xmlmerge('tabla xml', 'campo xml'); que la invo-

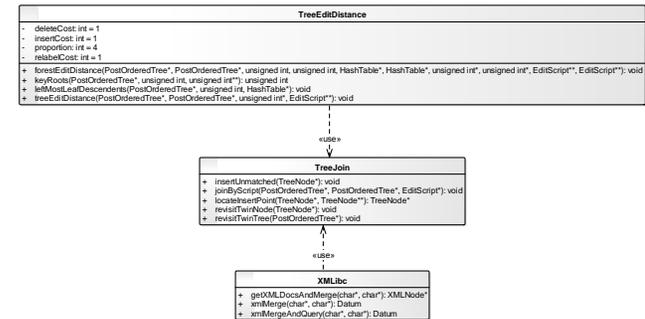


Fig. 6. Diagrama de clases para el núcleo de funciones de XMLibc.

Algoritmo 7. Mezcla de documentos XML

PARÁMETROS DE ENTRADA Tabla, Campo
VALORES DE RETORNO raíz del documento resultado

- 1: DocAct ← Nil
- 2: PARA TODO doc en Tabla[Campo] HACER
- 3: SI ~DocAct ENTONCES
- 4: CONTINUAR
- 5: FIN SI
- 6: DocAct ← Mezclar(DocAct, doc)
- 7: FIN PARA
- 8: DEVOLVERRaíz(DocAct)

Algoritmo 8. Mezcla de documentos XML

- 1: CREATE FUNCTION xml_merge(text, text) RETURNS xml
- 2: AS 'ruta/a/biblioteca/XMLibc', 'xml_merge'
- 3: LANGUAGE C STRICT;

Pruebas del algoritmo de mezcla

Se tomaron inicialmente un conjunto pequeño de tres documentos XML constituido por un esquema de una biblioteca con un promedio de cinco libros definidos por sus títulos, autores, editoriales, años de publicación, idiomas y categorías. Un ejemplo de prueba puede verse en las entradas descritas en los documentos (a) y (b) de la figura 7 cuyo resultado se presenta en la figura 8.

Documento (a)

```
<bookstore>
<book category="COOKNG" pages="125">
<title lang="en">Everyday Italian</title>
<author>GiadaDeLaurentiis</author>
<year>2005 </year>
<price>30,00 </price>
</book>
<book category="CHILDREN">
<title lang="en">Harry Potter </title>
```

```

<author> J K Rowling </author>
<year>2005 </year>
<price>29,99 </price>
</book>
<book category="WEB">
<title lang="en">Learning XML </title>
<author> Erik T Ray </author>
<year>2003 </year>
<price>39,95 </price>
</book>
</bookstore>
Documento (b)
<bookstore>
<book category="COMPUTERS">
<title lang="en">Introduction to Algorithms </title>
<author>Cormen</author>
<year>2010 </year>
<price>25,00 </price>
</book>
<book category="WEB">
<title lang="en">Learning XML </title>
<author> Erik T Ray </author>
<year>2003 </year>
<price>39,95 </price>
</book>
<book category="COOKING" pages="125">
<title lang="en">Everyday Italian </title>
<author>GuiadaDeLaurentiis</author>
<year>2005 </year>
<price>30,00 </price>
</book>
</bookstore>

```

Fig. 7. Ejemplo de prueba de dos documentos XML con esquema similar.

Se realizaron pruebas con conjuntos de datos de hasta cincuenta documentos XML con un promedio de veinte libros por documentos XML, se detectaron algunas fallas a nivel de ambigüedades con casos que no pueden ser detectados por el algoritmo de unión de documentos XML, por lo que se evaluó como correcto su funcionamiento.

```

<bookstore>
<book category="COOKING" pages="125">
<title lang="en">Everyday Italian</title>
<author>GuiadaDeLaurentiis</author>
<year>2005 </year>
<price>30,00 </price>
</book>
<book category="CHILDREN">
<title lang="en">Harry Potter </title>
<author> J K Rowling </author>
<year>2005 </year>
<price>29,99 </price>
</book>
<book category="WEB">
<title lang="en">Learning XML </title>
<author> Erik T Ray </author>
<year>2003 </year>
<price>39,95 </price>
</book>
<book category="COMPUTERS">
<title lang="en">Introduction to Algorithms </title>
<author>Cormen</author>
<year>2010 </year>
<price>25,00 </price>
</book>

```

```
</bookstore>
```

Fig. 8.Resultado obtenido de la unión de los documentos de la figura 7.

5 Conclusiones

El objetivo fundamental de este trabajo era extender las capacidades y funcionalidades para el manejo de documentos XML en PostgreSQL, por su carácter de SGBDR de código abierto, luego de indagar sobre que procesos deberían ser soportados, se evaluó la necesidad de implementar un algoritmo de mezcla de documentos XML de diversas fuentes de datos, se consideró relevante lograr que el manejador de bases de datos semi-estructuradas utilizado dentro de PostgreSQL pudiese ver un conjunto de documentos XML como una sola base de datos y no como bases de datos aisladas, que es como funciona de manera nativa.

Se estudiaron distintas formas de realizar la integración con PostgreSQL y extenderlo en el proceso, se optó por utilizar funciones internas escritas en bibliotecas en C y en la utilización de bibliotecas de soporte que ya estuvieran integradas en el núcleo del desarrollo de PostgreSQL (libxml2, SPI entre otros), siguiendo estas directrices se logró construir una función para la unión de documentos XML descritos en un campo dentro de relaciones en PostgreSQL y que puede ser utilizado por cualquier base de datos descrita por el SGBDR.

La manera de trabajar a través de programación modular, con componentes de fácil acoplamiento escritos en C y compilados en bibliotecas, permitió alcanzar el objetivo de la implementación de una biblioteca en C para manipular e integrar documentos XML llamada XMLibc.

Referencias

- Agarwal N, Oliveras MG, Chen Y, 2007, Approximate structural matching over ordered XML documents, IDEAS, IEEE Computer Society, <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/IDEAS.2007.16>
- Bertino E, Catania B, Wang WQ, 2004, Xjoin index: Indexing xml data for efficient handling of branching path expressions, 20th International Conference on Data Engineering (ICDE'04), IEEE Computer Society.
- Gonçalves R, 2006, Similarity between semi-structured data, http://www.golcalves.pro.br/artigos/goncalves_Similarity.pdf
- González AE, 2008, La métrica de levenshtein, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DACB.
- Guha S, Jagadish HV, Koudas N, Srivastava D, Yu T, 2002, Approximate XML joins, ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Madison, WI, USA, Franklin M, Moon B y Ailamaki A, Eds. ACM Press, pp. 287-298.
- Harold ER, 1999, XML bible, IDG Books Worldwide.
- Rizzolo F, Mendelzon A, 2005, Indexing xml data with to Xin, University of Toronto, Department of Computer Science, Tech. Rep.

- Samokhvalov N, 2007, XML support in PostgreSQL, CEUR Workshop, Kuznetsov SD, Fomichev A, NovikovB yShaporenkov D Eds, vol. 256. CEUR-WS.org. <http://ceur-ws.org/Vol-256/submission15.pdf>
- Training C, 2011, Relational database vendor comparison, <http://www.countrywidetraining.com/art/relational-database-vendor-comparison.htm>. Fecha de consulta: 2 Octubre 2011.
- Viyanon W, Madria SK, Bhowmick SS, 2008, XML data integration based on content and structure similarity using keys, Lecture Notes in Computer Science, Meersman R y Tari Z, Eds., vol. 5331. Springer, pp. 484–493, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88871-0_35
- Zamboulis L, Poulouvassilis R, 2004, XML data integration by graph restructuring, <http://citeseer.ist.psu.edu/651489.html> y <http://www.dcs.bbk.ac.uk/~lucas/pubs/techrep03.ps>
- Zhang K, Shasha D, 1989, Simple fast algorithms for the editing distance between trees and related problems, SIAM Journal on Computing, vol. 18, pp. 1245–1262.
- Zou Q, Liu S, Chu WW, 2004, Ctree: A compact tree for indexing xml data, WIDM'04. ACM.

Grimaldos, Nelson: *MSc en Computación en la Universidad de Los Andes, Venezuela. Contratista de software independiente. Correo electrónico: nr.grimaldos@gmail.com*

Besembel, Isabel: *Ph.D. en Estudios de Computación en la Universidad de Leeds, Reino Unido. Profesora Titular del Departamento de Computación de EISULA y miembro fundador del GIDyC.*

Capítulo 55

Efecto de la adición de CaCl_2 sobre el rendimiento quesero, en la elaboración de quesos pasta blanda en estación invierno

González, Aura Marina^{1*}; Rivas, Miguel Angel²; Gómez, Rubén³; Izaguirre, Cesar³; Lucena, Haidee²; Borregales, Carmen⁴; Pérez, Darío⁴

¹Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida Venezuela.

² Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

³ Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y biotecnología de Alimentos Escuela de Ingeniería Química Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

⁴ PAU Lácteos Santa Rosa A.C Universidad de los Andes, Mérida Venezuela

[*gonzaurita@gmail.com](mailto:gonzaurita@gmail.com)

Resumen

Con el objeto de conocer la influencia de la adición de CaCl_2 sobre el rendimiento quesero (RQ), se realizaron 640 quesos del tipo Andino Semidescremado a partir de leches provenientes de diferentes razas bovinas (jersey, holstein, mestiza y mezcla de todas las leches), con adición de diferentes concentraciones (0, 10, 15 y 20 gr de $\text{CaCl}_2/100\text{L}$ de leche), y estudiados durante proceso de fabricación en la estación invierno, usando el programa IBM SPSS Statistics versión 21. Los resultados muestran que existe dependencia estadística y altamente significativa, entre el rendimiento y la raza lechera. En los resultados de rendimiento a los 15 días de maduración (queso listo para la venta), se observó que las razas lecheras mezcla y jersey presentaron similar rendimiento con valores más altos, la raza mestiza un poco menor rendimiento, y la raza holstein presentó rendimientos bajos. Los diferentes tratamientos de adición de CaCl_2 aplicados indican que aumenta ligeramente el rendimiento quesero con la adición de CaCl_2 , probablemente debido a la mayor formación de paracaseinato de calcio, sin embargo la cantidad de CaCl_2 añadida no demostró ser proporcional al aumento del rendimiento. Los resultados mostraron que adicionar 10 gr $\text{CaCl}_2/100\text{L}$ a la leche proveniente de las razas Mezcla y Jersey, y 20 gr $\text{CaCl}_2/100\text{L}$ a la leche proveniente de la raza Holstein, aumenta ligeramente el rendimiento quesero en la elaboración del queso Andino Semidescremado durante el invierno. En el análisis estadístico, no fueron encontradas diferencias estadísticamente significativas según el tratamiento y los 15 días de maduración del queso.

ISBN: 978-980-11-1858-9



1 Introducción

El queso fresco Andino Semidescremado es un queso de pasta blanda, pasteurizado y de color amarillo claro con bajo contenido de grasa (2.6-2.8%). Su fabricación comprende procedimientos generales específicos como el tipo de cuajo a usar y el fermento láctico (StLactis, StCremoris, StThermoplys), (Borregales, S/F). En la fabricación de este queso se añaden aditivos tales como el CaCl_2 para aumentar el rendimiento quesero.

El rendimiento quesero se define como la cantidad de queso obtenido en kilogramos por la cantidad de leche empleada en litros, parámetro muy usado que permite conocer si existen factores que disminuyen la productividad de la quesería. En la mayoría de los casos, se usa el CaCl_2 para aumentar la producción, generalmente con la adición de una pequeña cantidad de este aditivo se pueden obtener aumentos en el rendimiento de hasta el 9% (Sbodio y col., 2010). Sin embargo, para realizar un análisis completo del rendimiento quesero es necesario tomar en cuenta las variables que lo afectan tales como: la raza bovina, la concentración de (grasa, humedad, micronutrientes como potasio y calcio); tanto en la leche como en el queso y la cantidad de proteínas en el queso.

La caseína, es una proteína grasa presente en la leche de la cual se conocen 4 tipos. Una de ellas es la κ -Caseína, la cual tiene una función importante durante la coagulación por la acción de una enzima (quimosina). La escisión causada por la quimosina produce la liberación del caseinomaicropeptido, que causa la precipitación de la proteína. Dentro de este complejo proceso interviene el calcio para formar puentes, logrando que se forme una gran red molecular de mayor tamaño llamada coágulo y en teoría la adición de CaCl_2 podría aumentar la concentración de calcio y así el rendimiento quesero.

En el presente trabajo se estudió la influencia de la adición de CaCl_2 sobre el rendimiento quesero para la fabricación del queso Andino con medición pesadas en cada etapa del proceso, según la raza y adición de CaCl_2 luego el estudio y análisis de resultados usando programa IBM SPSS Statistics versión 21.

2 Marco Teórico

La leche es una mezcla heterogénea de componentes nutricionales importantes que representan una fuente energética de calidad. Estos elementos forman una emulsión constituida por materia grasa, y otra parte proteica en un suero constituido principalmente por lactosa, sales minerales y vitaminas. Contiene los 8 aminoácidos esenciales, clasificados en hidrofílicos e hidrófobos, lo que hace determinar las características de la proteína que componen en cuanto a su solubilidad. (Bylund 1996). Las proteínas de la leche son muy diversas y con características distintas, permiten obtener diversos productos lácteos. Se clasifican: Seroproteínas que comprenden proteínas que son solubles o

quedan en el suero luego del cuajado de la leche, y la Caseína o micela compuesta por otros tipos de caseínas representa el principal grupo de proteínas lácteas. Las proteínas sufren reacciones enzimáticas que hacen que ocurra el proceso de coagulación y le brinda gran parte de las propiedades físicas y sensoriales al queso, por eso la importancia del estudio de la Caseína.

La presencia de grupos ionizables, hidrófilos e hidrófobos presentes en la caseína, forman una estructura definida o micela cuya estructura no es estable sino que se encuentra en un equilibrio dinámico con el medio. La fracción de las caseínas está formada, dentro del complejo micelar, en promedio por: α_1 -Caseína (38%), α_2 -Caseína (10%), β -Caseína (36%), κ -Caseína (13%) y γ -caseína (3%). La κ -Caseína tiene mucha importancia en el proceso de coagulación debido a que sobre esta ocurre la ruptura o escisión en uno de sus enlaces péptidos, lo que constituye la primera fase de la coagulación (Eckhard y col., 2002).

Seroproteínas, representan después de la caseína las proteínas mayoritarias y permanecen en la leche en solución y no en forma coloidal. Están comprendidas por 5 proteínas principales cuya composición media es: β -lactoglobulina (56%), α -lactalbúmina (21%), seroalbúmina (7%) inmunoglobulinas (14%) y lactoferrina (2%). (Eckhard y col., 2002).

En la leche se encuentran hidratos de carbono de diversos tipos tales como la glucosa y galactosa, así como una serie de polisacáridos. Sin embargo, el principal hidrato de carbono es la lactosa.

La lactosa, tiene gran importancia en la elaboración de quesos ya que, debido a la intervención de enzimas bacterianas, sufre diversas fermentaciones que le dan al queso olor y sabor característico (Bylund 1996). Su rango puede variar entre 4,5 y 5,2 % influyendo la alimentación y los períodos de alimentación.

La grasa se presenta en la leche en forma de glóbulos o gotitas, constituidos principalmente por triglicéridos de bajo punto de fusión. La membrana lipoproteica está compuesta de fosfolípidos, lipoproteínas, cerebrósidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, elementos traza (metales) y agua ligada. Forma un equilibrio dinámico entre el suero de la leche y los constituyentes de la componen. El lípido mayoritario y de mayor importancia comercial son los triglicéridos, representando alrededor de un 97-98% de la composición lipídica de la leche. Sin embargo, los llamados lípidos minoritarios tienen importancia puesto que de estos se obtienen características deseadas en productos lácteos debido a que estos pertenecen a una serie de sustancias que contribuyen considerablemente al sabor de la leche y de los productos lácteos. (Eckhard y col., 2002).

Las sales minerales representan aproximadamente el 1% de la composición de la leche y esta varía según las condiciones en las que se encuentre el animal e incluso de la raza. Se pueden encontrar en forma ionizada, acomplexados, en fase coloidal y en dispersión.

En la fabricación del queso, las sales minerales y los

elementos trazas juegan un papel importante en la velocidad de coagulación y en la textura final del producto, ya que intervienen en el proceso de cuajado de diferentes maneras, por lo tanto la carencia de una de estas sales se traduce en la afectación de este proceso, se hace necesario la medición cuantitativa periódica para detectar posibles fallas como la alimentación del animal, enfermedades, etc. Las vitaminas se encuentran en la leche en el orden de microgramos por litro y se clasifican en vitaminas liposolubles e hidrosolubles. Dentro del grupo liposoluble se puede mencionar las vitaminas A, D, E, y K, y dentro del grupo hidrosoluble se encuentran las vitaminas B, B₂, ácido nicotínico, ácido fólico, ácido pantoténico, B₁₂, C y H.

Durante el proceso de pasteurización u otro proceso térmico, o cuando se expone a los rayos del sol, algunas de esta vitaminas esenciales como la A, B₁, B₂, B₁₂ y C se pierden totalmente. (Borregales S/F). Finalmente, la composición de la leche depende de la raza del animal, por lo tanto ciertos tipos de ganado vacuno son mayoritariamente empleados en queserías ya que de esto depende de la calidad de los productos lácteos.

En la Estación Experimental Lácteos Santa Rosa son empleadas las razas Jersey, Holstein y Mestiza cuyas características permiten maximizar la producción lechera por lactancia aparte de que se adaptan a las características del clima de la región de Los Andes Venezolanos.

El queso es un producto blanco, semiduro, duro y extra duro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche, obtenido mediante: coagulación total o parcial de la proteína de la leche y técnicas de elaboración que comportan la coagulación de la proteína de la leche y/o de productos obtenidos de la leche. (OMS y FAO, 2011). Esta definición no abarca algunos tipos de quesos como el queso cottage y el queso crema (García y col., 2004).

Según la FAO/OMS a través del Codex Alimentarius, los quesos de pasta blanda presentan una consistencia blanda y la cuajada se obtiene por coagulación enzimática y acidificación láctica. Su período de maduración es corto y en este intervienen varias clases de micro organismos como mohos, bacterias superficiales y combinación de ambos. El proceso de elaboración del queso pasta blanda involucra una serie de etapas y su cumplimiento influirá en la calidad del queso obtenido.

a. Recepción de la leche, b. Preparación de la leche (estandarización, pasteurización, premaduración), c. Coagulación de la leche. d. Corte de la cuajada, e. Tratamiento de los granos de cuajada, f. Moldeado de la cuajada, g. Salado del queso h. Maduración del queso. (Borregales,S/F)

El rendimiento quesero es la cantidad de queso obtenida a partir de una cantidad determinada de leche (generalmente 100L o 100 kg). Rendimiento quesero es afectado por muchos factores incluyendo la composición de la leche,

variantes genéticas de la caseína, la calidad de la leche, agregación de aditivos tal como el CaCl₂, parámetros de manufactura, etc. (El-Gawad 2011).

$$\text{RQ(\%)} = \text{Queso obtenido (kg)} / \text{Leche utilizada (L)} \quad (1)$$

3 Procedimiento Experimental

3.1 Muestras

Para la investigación se seleccionaron las razas lecheras: Jersey, Holstein Mestiza y una mezcla de leches denominada Mezcla. Las leches provenientes de cada raza se emplearon para la elaboración 640 muestras de queso Andino Semidescremado clasificados de la siguiente manera: 160 quesos por raza, de los cuales 40 correspondieron a cada concentración establecida de CaCl₂, 10, 15 y 20g CaCl₂/100L y 40 quesos denominados quesos control sin adición de CaCl₂. La muestra y la población en este caso fueron iguales puesto que se utilizó toda la producción lechera para la elaboración de los quesos La elaboración y maduración de los quesos se llevó a cabo en la Estación Experimental Lácteos Santa Rosa PAU, de la Universidad de Los Andes durante el invierno.

3.2 Elaboración de quesos y determinación del rendimiento quesero por pesadas.

El ordeño de las vacas se realizó dos veces al día en los horarios comprendidos entre las 6-7am y las 5-6pm.

Los análisis físico-químicos de la leche se realizaron empleando un equipo EKO-MILK 120.

Recepción de la leche: Se realizaron los análisis de grasa, pH y proteínas en un equipo Ekomilk-120Estandarización de la leche: El volumen de leche se llevó a 2.8-2.6% de contenido graso.

Pasteurización: Se realizó a 65-63 °C durante 30 minutos. Adición del CaCl₂: Se enfrió a 50 °C y se agregó CaCl₂ de grado analítico, correspondiente a las concentraciones de: 10, 15 y 20 gramos por cada 100 L de leche.

Pre-Maduración: Se enfrió a 45 °C colocar StThermoply (ST) 0.25%. Luego se siguió enfriando y, al llegar a 40 °C, se colocó fermento láctico (FL) (StLactis y StCremoris) 0.5%.

Coagulación: Se dejó cuajar durante 30 minutos (tiempo de floculación 14-15min) a 34 °C.

Corte de la cuajada: Se realizó el corte de la cuajada de forma vertical y horizontal.

Batido: Se batieron los listones y se cortaron hasta tamaño de grano de garbanzo, batiendo suavemente por 15 min. Lavado: Se lavó de acuerdo a la acidez del suero utilizando agua hervida a 45 °C hasta que se obtuvo una temperatura final en el suero de 38°C. Desuerar y moldear: Con mallas, se extrajeron los granos de cuajada, colocados en moldes de tres pulgadas de diámetro, con tela filtrante fina.

Auto Prensado: Dejando la tela fina filtrante, se apilaron los moldes uno arriba del otro. Se realizaron 4 volteos

por hora y luego se dejaron por una hora más. Al final del autoprensado, se marcaron los quesos y pesaron c/u para la determinación del rendimiento.

Salado: Se dejaron en salmuera de concentración 20-22°Bé (grados Baumé) por 3 horas con volteo cada hora y media. Al finalizar el tiempo en salmuera, se dejaron drenar hasta el otro día y posteriormente se pesó c/u para la determinación del rendimiento.

Maduración: Se deja madurar por 15 días continuos. Se extraen y se pesan los quesos a los 5, 10 y 15 días de maduración. Seguido al muestreo y pesadas se determina el rendimiento quesero, para cada tratamiento y por cada raza.

4 Discusión y Resultados

4.1 Evaluación del rendimiento quesero a los 15 días de maduración.

En la figura 1., se muestran los resultados de rendimiento a los 15 días de maduración (queso listo para la venta), para las diferentes razas lecheras y a los diferentes tratamientos de concentración de CaCl_2 . Las razas Mezcla y Jersey tienen comportamientos similares y se observa que el rendimiento se incrementa levemente hasta alcanzar un máximo en la concentración C2 (15 $\text{gCaCl}_2/100\text{L}$), a partir de la cual el rendimiento es casi constante, a pesar de seguir adicionando CaCl_2 , se puede estimar que existe una concentración óptima para estas razas que corresponde a rendimientos próximos al valor de 8,5% kg/L para ambas razas.

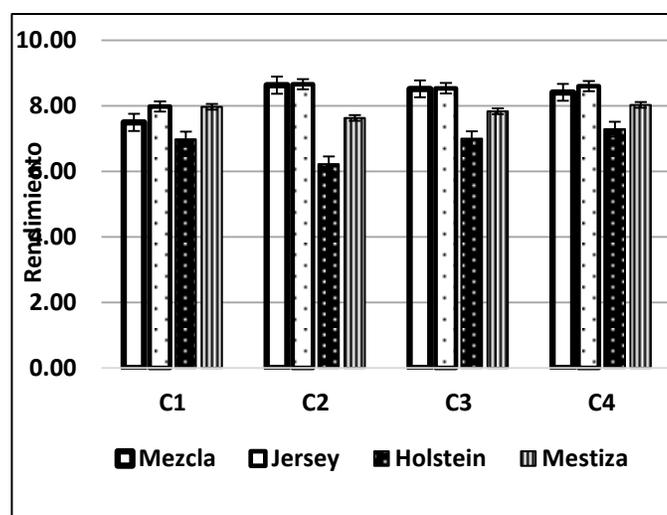


Figura 1. Rendimiento quesero a los 15 días de maduración y a distintas concentraciones de CaCl_2 , sin adición (C1); (C2) 10; (C3) 15 y (C4) 20g $\text{CaCl}_2/100\text{L}$, para las razas Mezcla, Jersey, Holstein y Mestiza.

Por otro lado, el rendimiento reportado, aplicando los diferentes tratamientos en las razas Holstein y Mestiza, muestra que inicialmente, sin tratamiento, el rendimiento era mayor

entre 7 y 8 % kg/L , luego de adicionar CaCl_2 ningun rendimiento supero al inicial por lo tanto la aplicación de tratamiento no favorece al rendimiento. Estos resultados concuerdan con los de Becerra y col., en 2004, que estimo que cada raza acepta una determinada concentración de CaCl_2 .

En la tabla 1. Se muestra el estudio estadístico del análisis de la varianza para el rendimiento quesero por tratamiento a los 15 días de maduración, para el queso listo para la venta. Los datos indican que, aunque existen diferencias entre las medias de los rendimientos obtenidos, estas son pequeñas, y desde el punto de vista estadístico no son suficientes para rechazar la hipótesis nula de que las medias entre los rendimientos y según el tratamiento presentan diferencias significativas entre sí ($p>0,05$).

Tabla 1. Resultados análisis de varianzas para el rendimiento quesero según el tratamiento

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente:	Rendimiento				
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	p
Modelo corregido	1,575 ^a	3	,525	1,067	,373
Intersección	2967,249	1	2967,249	6029,623	,000
Tratamiento	1,575	3	,525	1,067	,373
Error	21,653	44	,492		
Total	2990,476	48			
Total corregida	23,227	47			

a. R cuadrado = ,068 (R cuadrado corregida = ,004)

Por lo tanto, el rendimiento obtenido a 15 días de maduración no es afectado por la cantidad de CaCl_2 agregado a la leche inicial. Lo cual coincide con lo encontrado por Ong y col., (2014) donde lograron ligeros aumentos del rendimiento por la adición de sales, sin embargo estadísticamente no fueron significativos.

4.2 Evaluación del rendimiento quesero en los pasos de producción y maduración ante el tratamiento con adición de CaCl_2 .

En la figura 2 se muestra el rendimiento quesero obtenido por paso y a distintas concentraciones añadidas de CaCl_2 para la raza Mezcla, el rendimiento fue mayor al aplicarse el tratamiento con CaCl_2 en todo el proceso de elaboración respecto al rendimiento control, y descendió en el transcurso del proceso de maduración, este comportamiento fue similar al realizar el estudio para la raza Jersey. El rendimiento quesero antes de la salmuera (AS), en ambas razas, tendió a un valor de 11% kg/L con tratamiento, mientras que sin adición de CaCl_2 este se aproximaba a valores de 10, en este paso el queso tiene un alto rendimiento

pero no esta apto para la venta.

Para la raza mestiza no se observaron diferencias del rendimiento al agregarse las distintas cantidades de CaCl₂ en ninguno de los pasos de producción, y para la raza Holstein, se presento un comportamiento atípico, disminuye el rendimiento con la adición de CaCl₂ a una concentración C2 (10g CaCl₂/100L), se hace menor el rendimiento que a concentración propia o control.

Después de la salmuera, el queso es puesto en un cuarto de maduración donde sufre un proceso de deshidratación en el cual se pierde gran cantidad de humedad, además, las proteínas son degradadas a aminoácidos por la acción del fermento láctico. Por estas razones es que durante este periodo hay gran merma del rendimiento, como se aprecia en la figura 2., los quesos control también fueron sometidos a este mismo procedimiento y se observa el decrecimiento en el rendimiento al pasar las etapas del proceso y el tiempo de maduración.

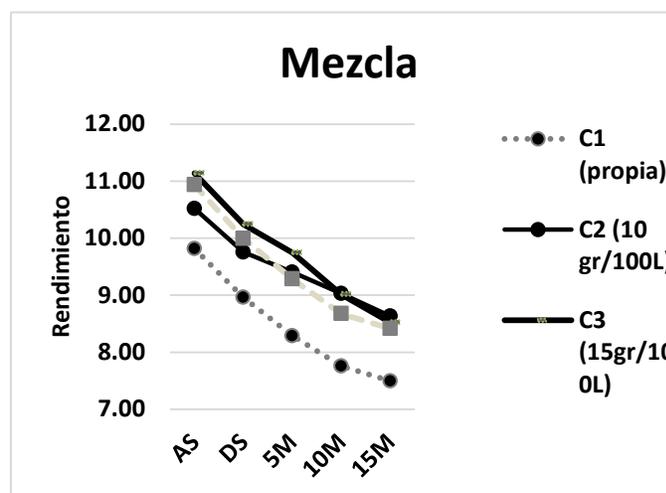


Figura 2. Rendimiento queso en los distintos pasos de elaboración y a distintas concentraciones de CaCl₂ añadido a la raza Mezcla. Los resultados corresponden a los pasos del proceso: Antes de la salmuera (AS), Después de la salmuera (DS), 5 días de maduración (5M), 10 días de maduración (10M), 15 días de maduración (15M).

El incremento en el rendimiento mostrado por algunas razas (mezcla Jersey) al adicionar CaCl₂, coincide con los trabajos realizados por Ustunol y col. (1990) y Wolfschoon-Pombo (1997), donde distintas cantidades de CaCl₂ fueron añadidas a la leche destinada a la elaboración de quesos reportando incrementos en el rendimiento queso. Al agregarse calcio en forma de CaCl₂, se aumenta la velocidad de entrecruzado o sinéresis al existir mayor cantidad de calcio ionizado, luego de formado el caseinomacropéptido, en la formación del paracaseinato de calcio a través de la formación de puentes de calcio, se traduce en una cuajada más firme, con poros más pequeños y con mayor retención de caseínas, minerales, vitaminas, cultivos iniciadores o bacte-

rianos, agua y una mayor firmeza en la red que conforma el coágulo reportado por Ustunol y col. (1990) y Wolfschoon-Pombo (1997).

4.3 Evaluación del rendimiento queso según la raza ante el tratamiento con adición de CaCl₂.

Los resultados reportados por pasos para cada raza, pueden estar influenciados por distintos factores como: comportamientos propios de la raza asociados con la composición nutricional de la leche, factores medioambientales, cantidad de grasa, proteína y humedad retenida, etc.

La tabla 2., presenta los resultados estadísticos del análisis de la varianza para el rendimiento queso según la raza. Los datos muestran que existe dependencia estadística y altamente significativa, entre el rendimiento y la raza lechera (p<0,05).

Tabla 2. Resultados análisis de varianzas para el rendimiento queso según la raza.

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente		Rendimiento			
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	p
Modelo corregido	17,759 ^a	3	5,920	47,632	,000
Intersección	2967,249	1	2967,249	23875,632	,000
Raza	17,759	3	5,920	47,632	,000
Error	5,468	44	,124		
Total	2990,476	48			
Total corregida	23,227	47			

a. R cuadrado = ,765 (R cuadrado corregida = ,749)

El rendimiento queso depende, entre otras cosas, de la raza pues la composición nutricional de la leche en: grasa, proteínas, sales, etc., es particular de cada animal y tales factores afectan la fabricación del queso Becerra y col., en 2004.

5 Conclusiones

Los resultados mostraron que adicionar 10gr CaCl₂/100L a la leche proveniente de las razas Mezcla y Jersey, y 20gr CaCl₂/100L a la leche proveniente de la raza

Holstein, aumenta ligeramente el rendimiento quesero en la elaboración del queso Andino Semidescremado durante el invierno.

La adición de CaCl_2 a la leche proveniente de la raza Mestiza no demostró aumento significativo del rendimiento quesero.

6 Agradecimientos

Al Consejo de desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de los Andes Mérida, Venezuela por su aporte en el proyecto I-1401-14-08-B.

A Lácteos Santa Rosa por apoyo y al Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos en el proyecto programa CVI-ADG-I-01-12-08.

Referencias

- Borregales C, S/F, Cuaderno PAU LSR II: Aspectos Generales sobre la elaboración de Queso. Nivel Inicial Vol. 2, Lácteos Santa Rosa, Mérida, Venezuela.
- Bylund MG, 1996, Manual de industrias Lácteas, Tetra Pak Processing Systems AB, Valencia, España.
- Becerra J, González AM, Gómez R, Lucena H, Izaguirre C, Moret Y, 2015, Efecto de la adición de CaCl_2 en leches de razas bovinas en la producción de quesos madurados pasta blanda y su incidencia en las propiedades organolépticas, Revista Ciencia e Ingeniería, Vol 36, N° 2, pp 105-110.
- Eckhard S, Buchheim W, 2002, La Leche y sus Componentes. Propiedades Químicas y Físicas., Acribia, Zaragoza, España.
- El-Gawad M, Ahmed N, 2011, Cheese Yield as Affected by Some Parameters Review., Acta Sci. Pol., Vol., 10, N° 2, pp.131-153.
- García G, Quintero R, López M, 2004, Biotecnología Alimentaria. Limusa. México.
- Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. Codex Alimentarius. Leche y Productos Lácteos (2 ed.). Roma, Italia.
- Sbodio O, Tercero E, Zannier M, Revelli G, 2010, Tratamiento Térmico de la Leche: Influencia del pH y CaCl_2 en la Elaboración de Queso Cuartirolo. Información Tecnológica, Vol. 21 N° 5, pp 107-116.
- Ustunol Z, Hicks C, 1990, Effect of Calcium Addition on Yield of Cheese Manufactured with Endothiaparasitica Protease, Journal of Dairy Science, Vol. 73, N° 1, pp 17-25.
- Wolfschoon P, 1997, Influence of Calcium Chloride Addition to Milk on the Cheese Yield, International Dairy Journal, Vol.7, N° 4, pp 249-254.

González, Aura Marina: Ingeniera Químico, MSc Química Aplicada, Doctorado en Ciencias Aplicadas Facultad Ingeniería, Profesor Titular, Investigador en Ciencia y Tecnología de la Química Aplicada.

Rivas, Miguel Angel: Ingeniero Químico ULA, productor independiente, conferencista, columnista Agencia EMEN, CEO Lámparas Venezuela, Semifinalista programa YLAI US Government 2016, Pionero Club de Emprendedores de la Cámara de Comercio e Industria del Estado Mérida. Correo electrónico: mrv_gm@hotmail.com

Gómez, Rubén: Ingeniero Químico ULA, MSc Food Technology Reading University England, Profesor Titular activo ULA, Director del Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos Facultad Ingeniería ULA. Correo electrónico: rcgomez@ula.ve

Izaguirre Guarisma, César Miguel: Licenciado en Química, ULA; Postgrado Interdisciplinario en Ciencia y Tecnología de los Alimentos UCV; Investigador y Coordinador del Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos. Correo electrónico: cmizag@ula.ve

Lucena, Haidee Noheli. Ingeniera Químico ULA. MSc en Ingeniería de Planta en Los Procesos Industriales, Universidad Tecnológica de Loughboroug Inglaterra. Coordinadora de pasantías. Correo electrónico: hlucena@hotmail.com

Borregales, Carmen: Ingeniera Químico ULA. MSc Food Technology Reading University England, Profesora Titular Jubilada de la ULA. Asesora en Tecnología Láctea. Directora de la Productora de Alimentos Lácteos Sta Rosa ULA. Correo electrónico: carmenborregales16@hotmail.com

Perez Gil, Ramón Dario: Ingeniero Químico ULA. Asistente en Dirección y procesos Ing. en PAU Lácteos Santa Rosa. Correo electrónico: pgdario@hotmail.com

Estudio de “reflexiones fantasma” en sistemas de cable de potencia

Ramírez, Francisco*; Hernández, Jean; Dávila, Marisol;

Escuela de Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.

Mérida 5101, Venezuela.

*jfranciscoramirez.fr@gmail.com

Resumen

Los sistemas de cable de potencia sufren procesos de envejecimiento y/o degradación durante su vida útil que pueden ser diagnosticados haciendo uso de tecnologías como la Reflectometría del Dominio del Tiempo (TDR). Siendo las “Reflexiones Fantasma” un problema que se presenta al interpretar la data resultante del TDR; fenómeno que se manifiesta en una respuesta transitoria del cable no deseada, producto de cambios de impedancia características. Definida como firmas que aparecen en el trazo TDR que no pertenecen a ningún empalme o anomalía como resultado de los pulsos o señales reflejadas o transmitidas que viajan a lo largo del sistema en ambas direcciones emitiendo lecturas e interpretaciones erróneas de dichos trazos. Lo que condujo a estudiar el comportamiento de las “Reflexiones Fantasma” en sistemas de cables de potencia con el propósito de aclarar aspectos teóricos y prácticos para ser aplicada en un futuro en la localización de fallas. La investigación se desarrolló mediante simulaciones en el software computacional Alternative Transient Program (ATP/EMTP), haciendo uso de cables de potencia 15 kV y 115 kV con aislamiento polietileno reticulado extruido (XLPE) con pantalla de hilos, los modelos de línea Básico y J. Marti, con inyección de pulso Gaussiano para luego analizar el comportamiento por medio de casos de estudio. Los resultados mostraron que los pulsos más estrechos se atenúan y se dispersan rápidamente, es decir la onda reflejada disminuye más rápido en amplitud en comparación con los pulsos más anchos. También se encontró que los cables con geometría de media tensión para tiempos más pequeños las reflexiones se atenúan y dispersa más que en cables de geometría de alta tensión, visualizándose mayor el efecto en el modelo de J. Marti, concluyéndose que las “reflexiones fantasmas” se atenúan y dispersan más en este modelo.

ISBN: 978-980-11-1858-9



1. Introducción

El La Ingeniería eléctrica, ha puesto hoy en día el interés por el estudio y análisis de las condiciones de operación de los sistemas de cables de potencia, con el propósito de aprovechar su máxima eficiencia en la distribución de energía eléctrica y por consiguiente atender con calidad la creciente demanda de su uso en instalaciones subterráneas. Por lo que, expertos en la materia han encontrado que los sistemas de cable de potencia sufren procesos de envejecimiento y/o degradación durante su vida útil, que pueden ser diagnosticado mediante el uso de la tecnología siendo la Reflectometría del Dominio del Tiempo (TDR), el método mas empleado; ya que este opera bajo el Coeficiente de Reflexión permitiendo así, fijar su comportamiento ante cambios de impedancia causados por empalmes o anomalías, entre otros.

En la investigación realizada por Cable Diagnostic Focused, and National Electric Energy Testing Research and Applications Center (CDFI-NEETRAC 2015) se encontró una respuesta transitoria en los sistemas de cable de potencia que llamo "Reflexiones Fantasma" y que lo concreto como trazos de TDR productos de los impulsos que son reflejados y transmitidos a lo largo del cable en ambas direcciones, que no se corresponden a ningún empalme o anomalía conduciendo a emitir lecturas e interpretaciones erróneas de trazos. Por lo que, estas mediciones ameritan ser analizadas y perfeccionadas a través de casos de estudio. De esta manera, se aclaran aspectos teóricos y prácticos en cuanto al origen y comportamiento de este fenómeno aportando a la ingeniería eléctrica su conocimiento para ser aplicada en la localización de fallas.

De la premisa anterior surge la presente línea de investigación que se orientó en estudiar las "Reflexiones Fantasma" en cables de potencia evaluando su comportamiento mediante casos de estudio simulados empleando el software Alternative Transient Program (ATP/EMTP) seleccionando los modelos de línea de Clarke, modelo independiente de la frecuencia y el de J. Marti dependiente de la frecuencia para establecer con exactitud las trazas TDR y así obtener una mejor lectura e interpretación, que le permita al operador emitir resultados confiables de la situación real del sistema de cable en evaluación.

2. Cable de Potencia

Un cable de potencia consiste "esencialmente, en uno o mas conductores aislados mediante materiales enrollados o extruidos sobre los conductores que tiene principalmente por objetivo lograr un mejor aprovechamiento de las cualidades" (Viqueira, 1993). Los niveles de tensión se clasifican de la siguiente manera:

Extra Alta Tension $230 \text{ kV} < \text{EAT}$
Alta Tension $57.5 \text{ kV} \leq \text{AT} \leq 230 \text{ kV}$

Media Tension $1000 \text{ V} < \text{MT} < 57.5 \text{ KV}$
Baja Tension $25 \text{ V} \leq \text{BT} \leq 1000 \text{ V}$
Muy Baja Tension $\text{MBT} \leq 25 \text{ V}$

3. Fallas en Cable de Potencia

Hoy día, en las ciudades modernas se ha optado por la instalación de sistemas de cable de potencia para la distribución de energía en alta tensión, ya que son menos propensos a sufrir efectos ambientales. Sin embargo, están expuestos a sufrir fallas "condiciones físicas que ocasionan la avería en un cable o que no permite que el mismo retenga o mantenga la tensión de servicio requerida" (INDUCOR, 2010). En los cables de potencia, las fallas mas frecuentes son las fallas de baja y alta resistencia.

3.1. Falla de baja resistencia.

Esta se presenta cuando el aislamiento del cable está dañado. El cable presenta continuidad entre sus extremos. Es decir, la resistencia serie $R_1 = 0$, la resistencia de falla a tierra R_2 es mucho menor que la resistencia de aislamiento R_a en un cable de buenas condiciones, como se observa en la figura 1 (INDUCOR, 2010). Existen altos niveles de corriente de fuga, se dan a consecuencia de fallas entre fases, fase/neutro y fase/tierra.

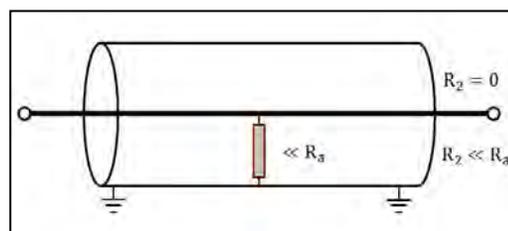


Figura 1. Falla de baja resistencia. (INDUCOR, 2010).

3.2. Falla de alta resistencia.

En este tipo de falla, el cable presenta continuidad entre sus extremos $R_1 = 0$, la tensión de la falla a tierra, es mayor que la tensión continua, al aplicar la tensión V_e , no se producirá descargas disruptivas en la falla, pero la corriente medida de pérdida i_p , toma valores que registran que la resistencia de falla a tierra R_2 , es menor que la resistencia de aislamiento R_a (INDUCOR, 2010). En la figura 2 se muestra la representación gráfica de una falla de alta resistencia.

4. Técnicas de Diagnóstico de Fallas en Cables de Potencia

La localización de fallas en cables de potencia, hoy día puede hacerse a través de instrumentos y procedimientos

adecuados, con el propósito de anticipar un siniestro eléctrico. Las mismas pueden aplicarse como pruebas de aceptación en la fabricación del cable o para evaluar su condición en operación, a través de técnicas de diagnóstico, creadas entre otras, la medición de descargas parciales y los ensayos de tensión resistida a muy baja frecuencia *VeryLowFrequency* (VLF), además del estudio analítico de muestras por medio de la aplicación de Rayos X, Microscopia Digital 3D y en la técnica más moderna que se basa en la reflectometría de alta tensión como: la reflexión de arco, la reflexión de arco diferencial y la reflexión de pulso. Estas técnicas, permiten controlar desde la recepción del cable, el tipo de falla, también analizar metro a metro el estado de degradación ascendente o estable, que sufra con el paso del tiempo, (Porfiri, 2009).

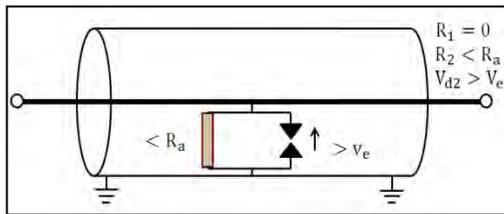


Figura 2. Falla de alta resistencia.(INDUCOR, 2010).

5. Reflectometría

La reflectometría, es uno de los métodos más antiguos con un margen de error muy bajo, utilizada para determinar: longitud de un cable, ubicación de fallas, interruptores y empalmes a lo largo del cable. Este método también se conoce como Reflectometría del Dominio del Tiempo (TDR), ecómetro o reflectómetro. En su modelo convencional consta de un generador de impulsos y un analizador de señales (osciloscopio) que fue desarrollado como técnica para localizar fallas en líneas telefónicas y posteriormente en cables subterráneos de energía eléctrica (INDUCOR, 2010).

6. Reflectometría del Dominio del Tiempo TDR (Radar de Alta Tensión)

6.1. Definición

El método convencional tiene la desventaja de no poder registrar fallas de alta resistencia mayores a 200Ω . Por lo que, fue necesario la adaptación de un radar de alta tensión que consistió en "un TDR convencional con generadores de impulsos, filtros o acopladores, que puede mostrar tanto fallas de alta y de baja resistencia" (INDUCOR, 2010), esto con el fin de elevar la tensión del pulso generador. Según el Cable Diagnostic Focused Initiative, and National Electric Energy Testing Research and Applications Center, (CDFI-NEETRAC, 2015) un TDR localiza y caracteriza a cambios de impedancia en un cable, que puede ser causado por empalmes, conexiones abiertas, neutros dete-

riorados, ingreso de agua en el aislamiento o en las articulaciones, malos conectores y cualquier otra falla que afecte la impedancia característica del sistema.

6.2. Funcionamiento de un TDR

Esta técnica, funciona como un radar; se inyecta un pulso de tiempo de alta velocidad en el sistema en un extremo cercano del cable. A medida que el pulso viaja a lo largo de este, cualquier cambio en la impedancia característica Z_0 (discontinuidades de impedancia) producirá algunas señales incidentes, estas se reflejan de regreso hacia la fuente, la magnitud de los impulsos reflejados puede ser calculado usando el coeficiente de reflexión ρ , como se visualiza en la ecuación 1. Por lo tanto, el pulso reflejado será positivo o negativo, si la impedancia es mayor o menor que la impedancia característica del cable Z_0 ,

El impulso inicial y el reflejo se trazan contra el tiempo en la pantalla del instrumento, análogamente a un osciloscopio, siendo interpretados por el operador.

$$\rho = \frac{Z_d - Z_0}{Z_d + Z_0} \quad (1)$$

Dónde:

Z_0 = es la impedancia característica del cable.

Z_d = es la impedancia característica de la discontinuidad.

Si $\rho = 1$; circuito abierto $Z_d \neq Z_0$ (no hay adaptación de impedancia).

Si $\rho = -1$; corto circuito $Z_d \neq Z_0$ (no hay adaptación de impedancia)

Si $\rho = 0$; no hay reflexión, lo que implica que el sistema de cable termina en impedancia igual a la impedancia característica del cable (la carga esta acoplada).

Esta prueba se realiza fuera de línea, en un tiempo, que oscila entre cinco y diez minutos una vez conectado el TDR al sistema de cable. Durante este periodo, se aplica un pulso de baja tensión entre el conductor y el blindaje de aislamiento de un sistema de cable, en un codo o terminación. Asimismo, el instrumento puede ser calibrado para determinar la velocidad de propagación (VOP) de los impulsos, la distancia del conductor hasta el final del sistema y la naturaleza de las discontinuidades de impedancia, por la forma y magnitud de las señales reflejadas (CDFI-NEETRAC, 2015).

6.3. Aplicaciones

El TDR es una herramienta fácil y rápida, que puede ser usada para el escaneo de sistema de cables de alimentación, juntas, terminales y así diagnosticar posibles anomalías que afectan el sistema de impedancia característica del mismo.

Es muy útil en mediciones de campo donde el cable de alimentación es largo, en la obtención de datos primarios como la longitud y número de empalmes. En otros casos, para evaluar el estado inicial del sistema (CDFI-NEETRAC, 2015). Sin embargo, esta técnica aún se sigue estudiando para optimizar las mediciones en el sistema de cable de alimentación.

7. Medidas TDR para la evaluación de los estados del sistema de alimentación

7.1. Impedancia Característica Z_0

Se define “como el cociente del voltaje y la corriente en una única onda de propagación” (Hayt y col., 2001), se utiliza para la configuración de inyección de pulso TDR, el cual debe tener la misma impedancia característica del sistema de cable de alimentación, esto con el fin de mejorar el paso de energía de pulso de la TDR al sistema (CDFI-NEETRAC, 2015).

7.2. Velocidad de Propagación

Es concebida como “la velocidad a la que viajan las señales de alta frecuencia por el sistema de cable de alimentación” (CDFI-NEETRAC, 2015). Este dato, se utiliza para caracterizar la estructura del sistema del cable de alimentación y ubicar las articulaciones como las posibles anomalías presentes en el sistema. La VOP es expresada en términos de la velocidad de la luz en el vacío 300.000 kilómetros por segundos, lo que representa el 100%, todas las demás señales viajarían a velocidades más lentas a través del sistema de cable de alimentación. Asimismo, la VOP de un cable de alimentación está determinada por el material de aislamiento dieléctrico, la temperatura de funcionamiento y la edad, de no contar con esta información, se calcula a partir de los parámetros del cable L y C o se estima la longitud del sistema del cable de alimentación cambiando la configuración de la VOP hasta que aparezca en el otro extremo la misma lectura de la distancia medida (CDFI-NEETRAC, 2015).

7.3. Pulso TDR, Amplitud y Anchura

Desde punto de vista eléctrico, los pulsos TDR viajan a lo largo del cable de alimentación, este sistema se comporta como una línea de transmisión (LT) con pérdida. Este comportamiento hace que los impulsos TDR cambien su forma a medida que viajan a lo largo del sistema. Este cambio se da por dos efectos: cambio en la forma de impulsos debido a la pérdida de energía (Atenuación) y por el cambio en la forma de impulso debido a las diferentes velocidades de desplazamientos para diferentes frecuencia, sin pérdida de energía (Dispersión), emergiendo estas a través de las reflexiones de impulsos TDR en los extremos del sistema y empalmes (CDFI-NEETRAC, 2015).

Con respecto a la atenuación, esta se da debido a “las

pérdidas en el aislamiento mayor, la propagación a través de la resistencia del conductor, neutral y chaqueta semiconductor” (CDFI-NEETRAC, 2015). Estas aumentan con la frecuencia, siendo significativas la pérdida de energía trayendo como consecuencia que los pulsos rápidos TDR recorran distancias cortas antes que se atenúen, a un nivel en que están ocultas por el ruido de fondo inducido. Por lo que, los pulsos TDR aumentan lentamente y deben ser utilizados para superar la atenuación del cable. La atenuación por unidad de longitud en comparación con el ancho de pulso TDR brinda información sobre en qué medida un pulso TDR se desplaza a través de un cable de alimentación antes de ser atenuado a un cierto nivel (CDFI-NEETRAC, 2015).

En relación a la dispersión de impulsos TDR, debido a la atenuación la dispersión está siempre presente. En caso de baja pérdida la distorsión dominará la atenuación y viceversa en caso de mayor pérdida. La dispersión es puntualizada como “un desplazamiento de fase de cada uno de los componentes individuales sinusoidales de frecuencia de pulso TDR y de forma similar a la atenuación” (CDFI-NEETRAC, 2015), los cambios en la velocidades en que viaja el pulso TDR hace que la dispersión se distorsione, en otras palabras se extiende en el tiempo debido al efecto de dispersión.

8. Modelos de Línea de Trasmisión

8.1. Modelo Básico

Una línea de Trasmisión (LT) se modela mediante el uso de un circuito equivalente de los elementos básicos pasivos y representa una serie infinita de los componentes principales de dos puertos (cuadripolo), constituye un infinitesimalmente corto segmento de la LT como se muestra en la figura 3. Sus parámetros eléctricos están conformadas por una impedancia en serie ($Z=R+ j\omega L$) y una admitancia en derivación ($Y= G+j\omega C$) ambas medidas por unidad de distancia (Lou van der, 2002). Un modelo de circuito presenta las siguientes constantes: Resistencia, Inductancia, Capacitancia y Conductancia (Cheng, 1997).

Donde:

La Resistencia serie (R) por unidad de longitud, en Ohmios/metros (Ω/m).

La Inductancia (L) por unidad de longitud, en Henry/metros (H/m).

La capacitancia (C) por unidad de longitud, expresado en Faradio /metro (F/m).

La conductancia (G) por unidad de longitud, en Siemens/ metro (S/m).

8.2. Modelo J.Marti

Este modelo evita los problemas numéricos de estabilidad, y es útil para un amplio rango de frecuencias, de 0 Hz a 106 Hz. Debido a la naturaleza distribuidas de las pérdidas

y a la dependencia en frecuencia de los parámetros, es mas conveniente desarrollar las ecuaciones de línea en el dominio de la frecuencia, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

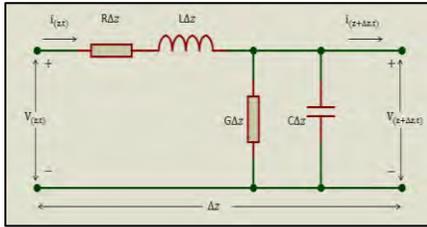


Figura 3 Circuito equivalente de longitud diferencial Δz De una LT de dos conductores (Cheng, 1997).

$$V_k(\omega) = Z_C(\omega)I_k(\omega) + E_{mh}(\omega) \quad (2)$$

$$V_m(\omega) = Z_C(\omega)I_m(\omega) + E_{kh}(\omega) \quad (3)$$

El circuito equivalente de las ecuaciones (2) y (3) en el dominio de la frecuencia, se ilustra en la figura 4 (Marti, 1982).

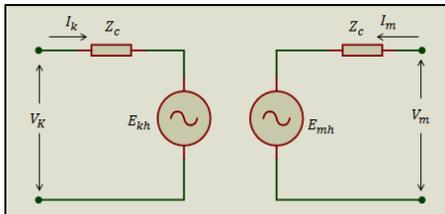


Figura 4 Modelo de línea de JMarti.

9. TDR "Reflexiones Fantasma"

9.1. Definición

La respuesta transitoria que se dan en la LT, conocida como "Reflexiones Fantasma" es concretada como señales o firmas que aparecen en el trazo TDR, que no pertenecen a ningún empalme o anomalía de la línea y es "el resultado de los impulsos del TDR, reflejada y transmitida, que viaja a lo largo del sistema en ambas direcciones" (CDFI-NEETRAC, 2015). Es decir, sombras que se muestran en el TDR, a consecuencia de un cambio de impedancia característica que puede darse en un extremo lejano o cercano del sistema.

9.2. Origen

Las firmas que aparecen en el trazo de TDR, surgen como respuesta a los pulsos o funciones de voltaje, producto de un cambio de impedancia. Estas se debe a tres situaciones cambiantes: "1.- La ubicación de los empalmes o

anomalías, 2- El número de empalmes o anomalías y 3.- Cómo afecta a la impedancia característica del cable." (CDFI-NEETRAC, 2015). Dado que, los sistemas de cable de alimentación presentan una amplia gama de configuraciones, tipos de empalmes y anomalías en su operación, estas "Reflexiones Fantasma" pueden propagarse a través de miles de combinaciones. Sin embargo, estudiosos en la materia han establecido casos puntuales para su comprensión.

10. Estudio de Casos Básicos de TDR "Reflexiones Fantasma"

1. Sistema de cable de alimentación sin empalmes o anomalías (figura 5).

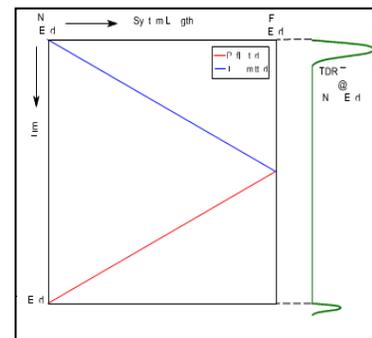


Figura 5 Diagrama de rebote. Caso 1. (CDFI-NEETRAC, 2015).

2. Sistema de cable de potencia con un empalme situado más lejos que el 50% de la longitud del cable medido desde el extremo cercano (figura 6).

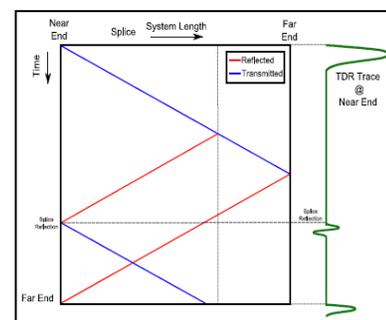


Figura 6 Diagrama de rebote. Caso 2. (CDFI-NEETRAC, 2015).

3. Sistema de cable de alimentación con un empalme situado en el punto medio exacto de la longitud del cable (figura 7).

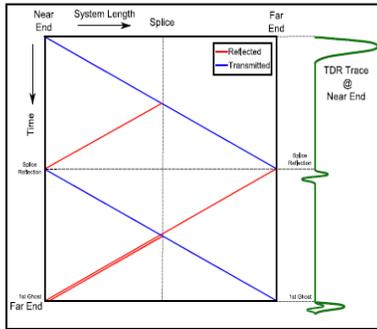


Figura 7 Diagrama de rebote. Caso c. (CDFI-NEETRAC, 2015).

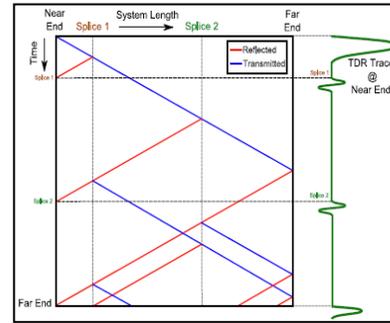


Figura 10 Diagrama de rebote. Caso 6. (CDFI-NEETRAC, 2015).

4. Sistema de cable de alimentación con un empalme situada entre el extremo cercano y el punto medio de la longitud del cable de alimentación (figura 8).

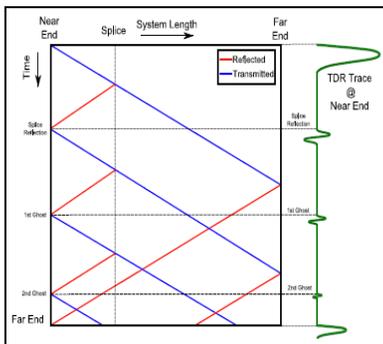


Figura 8 Diagrama de rebote. Caso 4. (CDFI-NEETRAC, 2015).

5. Sistema de cable de alimentación con dos empalmes situados en posiciones arbitrarias (figura 9).

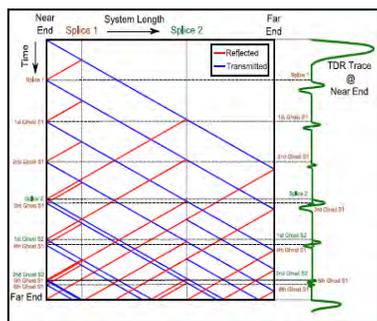


Figura 9 Diagrama de rebote. Caso 5. (CDFI-NEETRAC, 2015).

6. Igual que en el caso 5. Sin embargo, se considera el uso de acoplamiento de impedancia en el extremo cercano (figura 10).

11. Resultados Alcanzados

11.1. *Caso 1.* Sistema de cable de alimentación sin empalmes o anomalías.

Una vez realizadas las simulaciones con pulsos Gausianos, variando el ancho por medio del tiempo y una misma amplitud para todos, se procedió a analizar el comportamiento de la onda reflejada con respecto a la incidente, tomando como variable independiente los tiempos: 0.5 ns, 1 ns, 5 ns, 10 ns, 20 ns, 30 ns, 40 ns, 50 ns y 100 ns, el modelo de J. Martí y el esquema del sistema de cable de potencia de la figura 11. A continuación se describe el comportamiento de cómo se atenúa y dispersa la onda reflejada, en un sistema de cable de potencia con geometría de 15 kV con una longitud de 90 metros, sin empalme y anomalía para los tiempos de 0.5 ns y 100 ns.

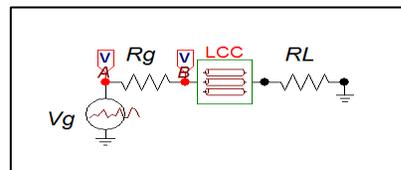


Figura 11 Sistema de cable de potencia sin empalme o anomalía $Z_0 \neq Z_L$.

El gráfico 1 muestra los resultados obtenidos para el circuito de la figura 11.

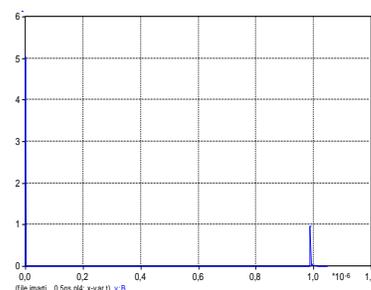


Gráfico 1. Comportamiento de la onda reflejada en un cable de 15 kV, sin empalme y anomalía 0.5 ns

Para obtener los gráficos 1y2 se inyectaron los pulsos de 0.5 ns y 100 ns, con una misma amplitud de 5 V en el sistema de cable de potencia de la figura 11 donde $R_0 \neq R_L$.

Observándose que al viajar estos pulsos por dicho sistema, se refleja la onda; el cual se atenúa alcanzando el valor de 0.9703 V para el pulso de 0.5 ns en comparación con el de 100 ns que toma un valor de amplitud del pulso final de 4.3963 V. De estos resultados se deduce, que la onda reflejada se comporta mas atenuada para los pulsos de menor tiempo. Presentándose los resultados para los distintos tiempos en la tabla 1 para un cable 15 kV y en la tabla 2 para un cable 115 kV con distintos parámetros para el modelo de J. Marti, siendo este el más real en la simulación de los sistemas de transmisión.

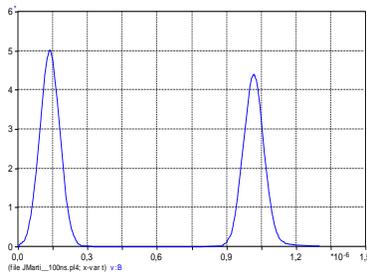


Gráfico 2. Comportamiento de la onda reflejada en un cable de 15 kV, sin empalme y anomalía 100ns

Tabla 1 Resultados del comportamiento de la onda reflejada en el cable de 15 kV, Modelo J. Marti.

Parámetros					
Amplitud Pulso inicial(V)	Ancho Pulso inicial(ns)	Amplitud Pulso final(V)	Amplitud Pulso final(%)	Amplitud Pulso final(%)	Ancho Pulso final (ns)
5.0269	0.5	0.9703	0.1930	19.30	1.780
4.9565	1	2.7609	0.5555	55.55	1.540
4.9855	5	3.3532	0.6722	67.22	5.700
4.9577	10	3.6940	0.7445	74.45	10.840
4.9817	20	3.9671	0.7954	79.54	21.100
4.9665	30	4.0751	0.8064	80.64	31.300
5.006	40	4.1849	0.8346	83.46	41.600
5.0018	50	4.2341	0.8450	84.50	51.900
5.0018	100	4.3963	0.8658	86.58	102.600

En la tabla 1 se evidencia que los anchos del pulso inicial con tiempos de 0.5 ns, 1 ns, 5 ns, 10 ns, 20 ns y de amplitud pulso inicial de 5V; la onda reflejada con respecto a la que inside en su viaje de ida y vuelta, se atenúan considerablemente en un 80% con respecto a la amplitud inicial; como se puede visualizar en la columna de amplitud pulso final (%). Por otra parte, el ancho del pulso final (ns) se expande relativamente con respecto al ancho del pulso inicial. Posteriormente, los pulsos con tiempos de 30 ns, 40 ns, 50 ns, 100 ns se encuentran entre el (80-90)% en su amplitud del pulso final (%) con respecto al inicial, apreciándose una diferencia muy poca. Cabe acotar, que para estos rangos de tiempo los pulso finales tambien se dispersa respectivamente.

Ahora bien, en la tabla 2 se aprecia el comportamiento de la onda reflejada en el cable de 115 kV, donde en los tiempos de 0.5 ns y 1 ns; la amplitud del pulso final (%) se atenúa en un 60% con respecto a la amplitud del pulso inicial, es decir que la pérdida de energía del sistema es inmensa. Del mismo modo, se puede ver que los anchos de los pulsos finales (ns) se dispersa relativamente con respecto a la inicial. Con relación a los pulsos con tiempos de 5 ns, 10 ns, 20 ns, 30 ns, 40 ns, 50 ns y 100 ns se atenúan en un rango de (85-95) % en comparación con la amplitud del pulso inicial. Asimismo se verifica que existe dispersión en el pulso final.

Tabla 2 Resultados del comportamiento de la onda reflejada en el cable de 115 kV, Modelo J. Marti.

Parámetros					
Amplitud Pulso inicial(V)	Ancho Pulso inicial(ns)	Amplitud Pulso final(V)	Amplitud Pulso final(%)	Amplitud Pulso final(%)	Ancho Pulso final(ns)
5.0269	0.5	1.8718	0.3724	37.24	1.220
4.9565	1	2.7609	0.5570	55.70	1.520
4.9855	5	4.2612	0.8547	85.47	5.260
4.9577	10	4.3842	0.8843	88.43	10.280
4.9817	20	4.4766	0.8986	89.86	20.300
4.9665	30	4.4953	0.9051	90.51	30.500
5.006	40	4.5525	0.9094	90.94	40.600
5.0018	50	4.5639	0.9125	91.25	50.700
4.9939	100	4.5953	0.9202	92.02	101.000

A continuación se muestra el gráfico 3 donde se aprecia el comportamiento de la onda reflejada para distintas

geometrías de cable y el gráfico 4 el comportamiento de la dispersión del pulso final con respecto al pulso inicial para ambas geometrías; ya que es una herramienta eficaz para la visualización de tendencias a lo largo del tiempo.

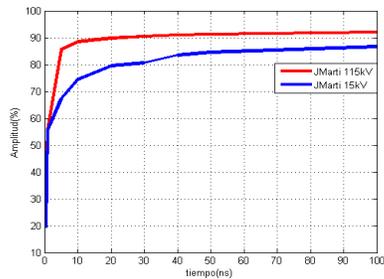


Gráfico 3 Comportamiento de la onda reflejada para distintas geometrías de cables.

En el gráfico de línea 3 muestra la amplitud en función del tiempo, en el cual se indica las tendencias de las tablas vistas anteriormente. La amplitud del pulso final en (%) esta representado en el eje Y y el tiempo de los pulsos iniciales en el eje X, este último tomado como variable independiente. La línea azul identifica el comportamiento del cables de 15 kV y línea roja 115kV, haciendo la comparación de ambas para el modelo de línea de J.Marti. Como puede visualizarse, ambas líneas se comportan de forma concava y se valora que la línea roja esta por encima de la línea azul. Dando como resultado que para el cable de 15 kV, tiempo menores a 20 ns crece en amplitud de una manera muy rápida y para los tiempos mayores a 20 ns crece muy lento hasta 100 ns. Para el cable de 115 kV en el rango de tiempos de (0.5-5) ns crece en amplitud hasta un 85%, de 5 ns en adelante se tiene un comportamiento prácticamente lineal; debido a que la variación de amplitud al transcurrir el tiempo es en poco porcentaje.

En resumen, los pulsos con menos tiempos contienen más componentes frecuenciales y son más rápidos; la amplitud de la onda refleja se ve afectada en atenuación y se dirpersan un poco más en tiempo. Ahora para los pulsos mayores a 10 ns siendo estos característicos para un TDR, la amplitud de la onda incidente es semejante a la onda reflejada.

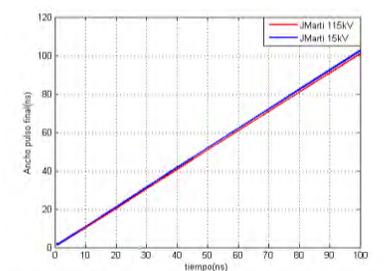


Gráfico 4 Comportamiento del pulso final con respecto al pulso inicial

En el gráfico 4 muestra el ancho del pulso final en función al tiempo, en el cual se indica las tendencias de las tablas vistas anteriormente. El ancho del pulso final en (ns) está representado en el eje Y y el tiempo de los pulsos iniciales en el eje X, este último tomado como variable independiente. La línea azul identifica el comportamiento del cables de 15 kV y línea roja 115kV, haciendo la comparación de ambas para el modelo de línea de J.Marti. En dicho gráfico se ve un comportamiento lineal, verificándose que el cable de 15 kV presenta más dispersión en el pulso final a medida que los tiempos de los pulsos iniciales van creciendo en comparación con la geometría de 115 kV.

Una vez estudiado el comportamiento de la onda incidente y reflejada en el sistema de cable de potencia mostrados en la figura 11 se procedió a estudiar los casos de “Reflexiones fantasma” descritos anteriormente, donde se simularon los más relevantes a través del software ATP/EMTP, tomando en cuenta el modelos de J. Marti para las distintas geometrías de cable y estableciendo comparaciones entre ellas

11.2. Caso 2. Sistema de cable de alimentación con un empalme situada entre el extremo cercano y el punto medio de la longitud del cable de alimentación.

En la figura 12 se presenta el esquema circuital de la línea, donde este muestra una longitud de 200 metros (m) y un empalme situado a 25 % de dicha longitud. Estos empalmes se crearon a través del modelo básico, como se aprecia en la figura 13, el cual se interconecta en el esquemacircuitual del sistema de cable de potencia de la Figura 12, ubicado a 50 m del extremo cercano; generando discontinuidad de impedancia en el sistema. Estos empalmes tienen las siguientes características: $Z_d = 50 \Omega$, $L = 1 \text{ m}$.

Dónde:

Z_d Impedancia de la discontinuidad

L Longitud del empalme

En los graficos 5 y 6 se aprecia la respuesta transitoria para las distintas geometrías de cable usado.

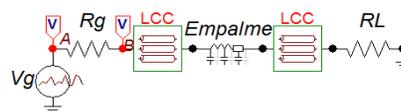


Figura 12 Esquema circuital del sistema de cable de potencia empleado para el caso 4. Modelo J. Marti.

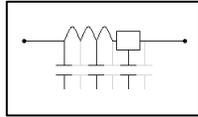


Figura 13 Modelado del Empalme.

En el gráfico 5 se visualiza la simulación realizada para una geometría de cable de 115 kV; se evidencian dos “Reflexiones Fantasma” Fantasma 1 (F1) y Fantasma 2 (F2) para el Empalme (E1) fácilmente identificados aquí debido a la correlación de las distancias entre ellos y su respectivo empalme, asimismo su atenuación y dispersión. Por ejemplo, la distancia que existe entre el pulso inicial y el empalme E1 es la misma distancia del fantasma F1 más atenuado y disperso que E1, que es también la misma distancia entre el F1 y el F2.

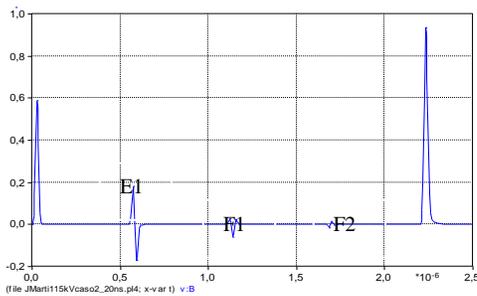


Gráfico 5 Simulación para la geometría de cable de 115 kV. Caso 4. Modelo J. Marti.

Para el caso del gráfico 6, simulación realizada para una geometría de 15 kV; se observan dos “Reflexiones fantasma” (F1 y F2) para el empalme (E1), al igual que en el caso anterior se identifica debido a que F1 está más atenuado y disperso que E1 y F2 con respecto a F1 se ve mucho más atenuado y disperso, por esta razón la traza de F2 no se observa bien. A pesar de que se utiliza el mismo esquema circuital del sistema de cable de potencia, cualitativamente se observa que ambos gráficos presentan distintas características; para el cable de 15 kV los trazos relacionados con (E1) y los trazos de las “Reflexiones fantasma” se ven más atenuado y dispersos que para el cable de 115 kV.

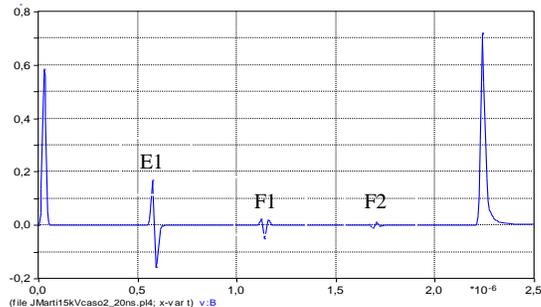


Gráfico 6 Simulación para la geometría de cable de 15 kV. Caso 4. Modelo J. Marti.

11.3 Caso5. Sistema de cable de alimentación con dos empalmes situados en posiciones arbitrarias.

En la figura 14 se presenta el esquema circuital de la línea, donde este muestra una longitud de 140 metros (m) y dos empalmes situados arbitrariamente dentro del 50% en dicha longitud; estos empalmes se modelaron de la misma manera que para caso 4. También se aprecia en los gráficos 7 y 8 la respuesta transitoria para las distintas geometrías de cable usado.

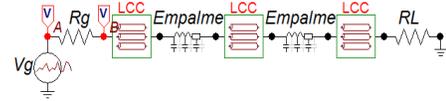


Figura 14 Esquema circuital del sistema de cable de potencia empleado para el caso 5. Modelo J. Marti.

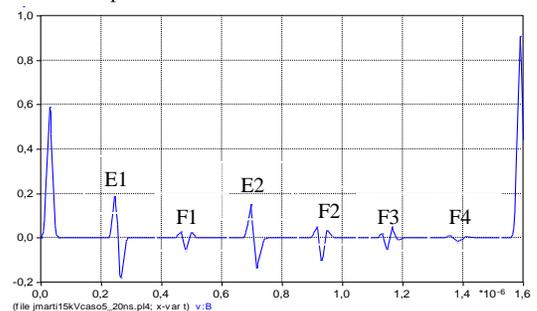


Gráfico 7 Simulación para la geometría de cable de 115 kV. Caso 5. Modelo J. Marti

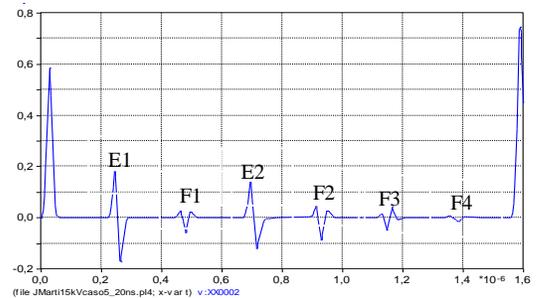


Gráfico 8. Simulación para la geometría de cable de 15 kV. Caso 5. Modelo J. Marti

En la figura 14, se muestra el esquema circuital del sistema de cable de potencia que se empleó en el caso 5 para el modelo de J.Marti; el cual tiene 140 m de longitud, dividido entre tres líneas (LCC) y con dos juntas ubicadas arbitrariamente, en este caso se ubicó una a 20 m y el segundo empalme 40 m después del primero. Con certeza tanto para el gráfico 7 como para el gráfico 8 se visualizan “Reflexiones Fantasma” (F1), para el Empalme (E1) y (F2, F3 y F4) que pertenecen al Empalme (E2) fácilmente identificados; debido a la correlación entre las distancias entre ellos y su respectivo empalme, asimismo su atenuación y dispersión.

Por ejemplo, la distancia que existe entre el pulso inicial, que es el que incide y el empalme (E1) es la misma la distancia que hay entre dicho empalme y el F1. Por otra parte, los TDR “Reflexiones fantasma” (F2, F3 y F4) pertenecen a E2, se ven cada vez más atenuado y dispersos.

Cabe destacar que para ambas simulaciones vistas en los gráficos 7 y 8 las “Reflexiones Fantasma” se observan de manera distintas; debido a que para el cable con geometría estandarizada 15 kV se ve más atenuadas en comparación con los cables de transmisión de 115 kV.

12. Conclusiones

Los objetivos se lograron por cuanto se estudió el comportamiento de las “Reflexiones fantasma” en sistema de cables de potencia de geometrías 15 kV y 115 kV con aislamiento polietileno reticulado extruido (XLPE) pantalla de hilos y con el modelo de línea/cable de J. Marti, enfocándose en un pulso Gaussiano bajo distintos anchos y amplitud constante e introducido en el esquema circuital, tomado para el caso 1 de estudio. En él se observó el comportamiento de la onda incidente y reflejada en un sistema sin empalme. Seguidamente se estableció un pulso Gaussiano de 20 ns con la misma amplitud para el estudio del caso 4 con empalmes situado al 25% de la línea y caso 5 con dos empalmes situados en lugares arbitrarios y así observar el comportamiento de la onda incidente al caracterizar cambio de impedancia, por consiguiente visualizar las “Reflexiones fantasma”.

De los resultados de las simulaciones se encontró, que en el Modelo de J. Marti en geometría de cable de 15 kV en tiempos más pequeños; la reflexión de la onda se atenúa más con respecto al cable de 115 kV, en el caso 1 de estudio.

Para el caso de estudio 4 y 5 en el Modelo de J. Marti, se observó las “Reflexiones fantasma” más atenuadas y dispersas que en el Modelo de Básico, visualizándose en este último más trazos de TDR “Reflexiones fantasma”. Cabe destacar que en el cable de 15 kV la amplitud de la onda reflejada disminuye por ende se observa menos “Reflexiones fantasma” que en la geometría de 115 kV.

Desde el punto de vista teórico y práctico las “Reflexiones fantasmas” son respuesta transitoria que se dan en la LT y se define como señales o firmas que aparecen en el trazo TDR, que no pertenece a ningún empalme o anomalía de la línea y es el resultado de los impulsos del TDR, reflejada y transmitida, que viaja a lo largo del sistema en ambas direcciones. Son producto de los pulsos o funciones de voltaje como consecuencia de cambios de impedancia y estas se deben a tres situaciones cambiantes: 1.- La ubicación de los empalmes o anomalías, 2.- El número de empalmes o anomalías y 3.- Cómo afecta a la impedancia característica del cable. Por lo tanto, pueden propagarse a través de miles combinaciones a lo largo del sistema de cable de alimentación por su amplia gama de configuraciones, tipos de empalmes o fallas. Lo que amerita seguir estudiándolas.

13. Referencias

- Cable de Energía y Telecomunicaciones Sociedad Anónima (CENTELSA), 2008, Cables para media tensión. Boletín técnico, Abril 2008. Escuela Superior Colombia. Consultado: 26 /12/2015. Disponible: <http://www.centelsa.com.co/index.php?bol=0010>.
- Cable Diagnostic Focused Initiative, and National Electric Energy Testing Research and Applications Center (CDFI-NEETRAC), 2015, Chapter 4. Time domain reflectometry (TDR). Georgia Institute of Technology, DOE Award No. DE=OE0000188. NEETRAC project Numbers: 04-211/04-212/09-166, November 2015. In public domain, U.S. Government Founded project.
- Cheng D., 1997, Fundamentación de electromagnetismo para ingeniería (1. Ed.) Versión en español. México: Pearson. Educación.
- Electrical Testing Group (INDUCOR), 2010, Manual de capacitación y entrenamiento en técnicas de ensayos, diagnóstico y de detección de fallas en cables subterráneos de energía. [Artículo en línea] Séptima jornada, Noviembre 2010. Argentina. Consultado: 09/01/2016. Disponible: www.inducor.com.ar/articulostecnicos/localización_de_fallas_partes1.pdf.
- Hayt W, Buck J, 2001, Teoría electromagnética. (7ª Ed.). México: McGraw-Hill.
- Lou van der S, 2002, Transients in power systems. KEMAHigh-Power laboratory, John Wiley & Sons.
- Marti JR, 1982, Accurate modeling of frequency dependent transmission lines in electromagnetic transient calculations. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-101, N°1, January 1982.
- Porfiri P, 2009, Detección, análisis y prevención de fallas en cables subterráneos. [Artículo en línea]. Inducor S.A. Consultado: 09/01/2016. Disponible: www.inducor.com.ar/articulostecnicos/detección_analisis_y_prevenición_de_fallas_en_cables_subterranos.pdf.
- Strickland J, 2013, Time domain reflectometry measurements. Concepts. Tektronix Measurement.
- Viqueira J, 1993, Redes eléctricas. (3ra Ed.). México: Ediciones Alfaomega S.A

Ramírez, Francisco: Ingeniero Electricista, 2016, *Universidad de Los Andes*.

Hernández, Jean C: Ph.D. en Ingeniería Eléctrica, Georgia Tech Institute, 2008. Correo elec-trónico: jean77@gmail.com.

Dávila, Marisol: Dr. en ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN, Unidad Guadalajara, México, 2005. Correo electrónico: mari-sol.davila@gmail.com

Una nueva estrategia para resolver balances de materia en sistemas heterogéneos

García, Yohn

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. ULA. Mérida, Venezuela.
yohn@ula.ve

Resumen

En ingeniería de procesos a diario mezclamos o separamos compuestos que terminan difiriendo en su composición. Las composiciones y/o algunas relaciones másicas entre los diferentes compuestos son piezas fundamentales a la hora de realizar los cálculos del balance de materia. Por otro lado, las nuevas herramientas de cálculo como las calculadoras avanzadas de hoy en día y algunos tipos de software nos permiten facilitar los cálculos en la ingeniería de procesos, y muy particularmente en los balances de materia y energía. En el presente trabajo se hace un énfasis especial en cómo usar las composiciones y/o las relaciones másicas entre los diferentes compuestos o corrientes de flujo de materia en un proceso de separación, así como también, se hace un breve análisis para determinar las ecuaciones linealmente independientes provenientes de los balances de masa en sistema complejos como mezclas heterogéneas.

Una nueva estrategia llamada “estrategia de ramificaciones” es desarrollada en este trabajo, la cual facilita los balances de materia en mezclas heterogéneas. Un ejemplo ilustra la efectividad de esta técnica aplicada a la ingeniería de procesos.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

A través de la historia varios libros se han escrito para describir los balances de materia y energía en los procesos químicos, basado en la transformación de la materia y su principio de conservación (Felder 2000, Himmeblau 2004). En ingeniería de procesos a menudo se mezclan o se separan compuestos de diferente composición a fin de obtener productos con características deseadas. Las composiciones, así como también las algunas relaciones másicas entre los diferentes compuestos son piezas fundamentales a la hora de realizar los cálculos del balance de materia. Las nuevas herramientas de cálculo como las calculadoras avanzadas de hoy en día y algunos tipos de software nos permiten facilitar los cálculos en la ingeniería de procesos, y muy particularmente en los balances de materia y energía. En las últimas décadas hemos podido observar el avance de la computación en el soporte a cálculos numéricos en esta área (Veverka1997, Scopatz, 2009).

Los sistemas heterogéneos son aquellos donde intervienen materiales con más de una fase, lo que los hace particularmente complejos a la hora de realizar los balances de materia dada la diversidad en su composición. Este tipo de sistemas se hacen presentes en la mayoría de procesos industriales, lo cual hace interesante su estudio en los procesos de separación y/o mezclado.

En este trabajo nos vamos a centrar en cómo usar las composiciones y/o las relaciones másicas entre los diferentes compuestos o corrientes de flujo de materia en un proceso de separación para así desarrollar una nueva técnica en la formulación de los balances de materia, específicamente en sistemas que contienen más de una fase con composiciones diferentes. Por otro lado, se incluye un breve análisis para determinar las ecuaciones linealmente independientes que se obtendrían en los balances de materia involucrados en este tipo de sistemas complejos.

2 Compuestos, composiciones y relaciones másicas en procesos de separación y/o mezclado.

Analizar cuantitativamente la composición de un determinado compuesto puede compararse, como veremos a continuación, con un proceso de separación ideal, "separación hipotética", donde se lograrían separar eficientemente todos sus componentes.

En un principio, estudiaremos la figura 1, la cual representa el esquema simplificado de un proceso de separación de dos etapas. La primera etapa (I) corresponde a un mezclado, y la segunda etapa (II) a la separación en sí. Sean A, B, y C tres componentes cualesquiera; (m_1) , (m_2) , (m_3) , (m_4) y (m_5) porciones de materia (masa), X_i y Y_i las relaciones másicas entre dos porciones de materia sucesivas presentes en un proceso de separación y/o mezclado, en otras palabras, corresponden a las fracciones másicas de ciertos compuestos dentro de una masa mayor que los contiene.

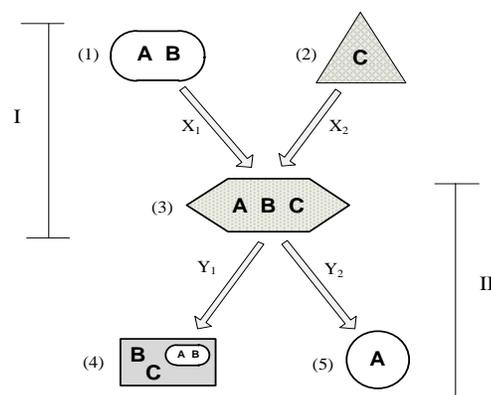


Figura 1. Esquema de un proceso de separación de dos etapas.

Como se señaló previamente, para analizar la composición de algunos compuestos, y en especial los compuestos heterogéneos, una porción de materia, constituida por otras porciones de menor masa, puede ser considerada como un proceso de separación ideal, "separación hipotética", con tantas "etapas" como se requieran para lograr separar eficientemente todos sus componentes. Así, por ejemplo, un compuesto que esté formado por los componentes A, B y C, como la masa m_3 de la figura 1, bien pudiera estar constituido por las masas m_1 y m_2 con sus respectivas fracciones másicas, X_1 y X_2 , o también estar formada por las masas m_4 y m_5 con sus respectivas fracciones másicas, Y_1 y Y_2 .

Para analizar la composición de las masas m_1 y m_4 , pudieran considerarse separaciones adicionales (separaciones hipotéticas) hasta lograr separar cada uno de sus componentes. Más adelante se ilustra detalladamente el procedimiento de como determinar la composición de la masa m_4 .

En resumen, cada etapa de la figura 1, puede ser considerada como un proceso de separación y/o mezclado, o también, como la distribución de porciones de materia contenidas en una sola pieza de mayor tamaño, dependiendo del propósito del cálculo a realizar.

Para determinar las composiciones de interés, procedemos a determinar los balances de materia en cada una de las etapas del proceso:

2.1 Balances de materia en la etapa I

En la etapa I, etapa de mezclado, el compuesto de masa m_1 , formado por los componentes A y B (de composición conocida, X_{A1} y X_{B1}) se mezcla con el compuesto de masa m_2 (C puro) para formar un compuesto homogéneo de masa m_3 , constituido por estos tres componentes A, B y C. La fig. 2 muestra las tres porciones másicas involucradas en esta etapa de mezclado.

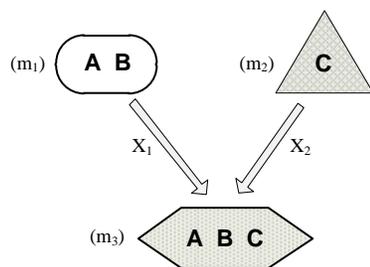


Figura 2. Etapa I, el mezclado.

2.1.1 Ecuaciones generadas en la etapa I

En la presente etapa, tenemos 3 componentes por lo que contamos con 4 posibles balances de materia, de los cuales solo 3 serán independientes. Sean X_{Aj} , X_{Bj} y X_{Cj} las fracciones másicas de los componentes A, B y C, en la porción de materia m_j (para $j = 1$ y 3). Puesto que m_2 es 100% C, la $X_{C2} = 1$.

Ecuaciones por balances de materia:

$$\text{Masa Total) } \mathbf{m_1 + m_2 = m_3} \quad (1)$$

$$\text{Componente A) } \mathbf{m_1 * X_{A1} = m_3 * X_{A3}} \quad (2)$$

$$\text{Componente B) } \mathbf{m_1 * X_{B1} = m_3 * X_{B3}} \quad (3)$$

$$\text{Componente C) } \mathbf{m_2 = m_3 * X_{C3}} \quad (4)$$

Ecuaciones por especificaciones del proceso:

$$\text{Sumatoria de las fracciones másicas de los componentes de } \mathbf{m_3:} \quad \mathbf{X_{A3} + X_{B3} + X_{C3} = 1} \quad (5)$$

$$\text{Sumatoria de las fracciones másicas de los componentes de } \mathbf{m_1:} \quad \mathbf{X_{A1} + X_{B1} = 1} \quad (6)$$

$$\text{Relación entre } \mathbf{m_1} \text{ y } \mathbf{m_3:} \quad \mathbf{m_1 = X_1 * m_3} \quad (7)$$

$$\text{Relación entre } \mathbf{m_2} \text{ y } \mathbf{m_3:} \quad \mathbf{m_2 = X_2 * m_3} \quad (8)$$

$$\text{Sumatoria de las fracciones másicas de las porciones } \mathbf{m_1} \text{ y } \mathbf{m_2} \text{ en } \mathbf{m_3:} \quad \mathbf{X_1 + X_2 = 1} \quad (9)$$

La ecuación (1) puede ser obtenida sumando las ecuaciones (2), (3), (4), (5) y (6); o bien, sumando las ecuaciones (7), (8) y (9); por lo que de las 9 ecuaciones anteriores solo 7 de

ellas serán independientes. Para escoger el sistema compatible de ecuaciones se deberá tener mucho cuidado de no tomar ecuaciones linealmente dependientes, por ejemplo, Si se va a utilizar la ecuación (1), entonces se deberá prescindir una ecuación del grupo de ecuaciones conformado por (2), (3), (4), (5) y (6), y también prescindir de otra ecuación del grupo conformado por las ecuaciones (7), (8) y (9).

2.2 Balances de materia en la etapa II

En la etapa II, etapa de separación, el compuesto de masa m_3 formado por los componentes A, B y C se separa en dos porciones de materia: Por un lado, una primera porción de masa heterogénea (m_4) que contiene todo el componente C, todo el componente B (distribuido de dos maneras: una parte de B disuelto en C y la otra parte de B mezclado con A, presentando esta última parte, la misma composición del compuesto m_1). Por otro lado, la segunda porción de masa (m_5) que se separa de m_3 , contiene solo componente A. La fig. 3 muestra esta etapa de separación.

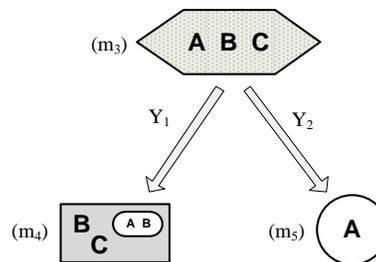


Figura 3. Etapa II, la separación

2.2.1 Ecuaciones generadas en la etapa II

En este sistema, tenemos 3 componentes por lo que contamos con 4 posibles balances de materia, de los cuales solo 3 serán independientes.

Sean X_{Aj} , X_{Bj} y X_{Cj} las fracciones másicas o molares de los componentes A, B y C, en la porción de materia m_j (para $j = 3$ y 4). Puesto que m_5 es 100% A, la $X_{A5} = 1$.

Ecuaciones por balances de materia:

$$\text{Masa Total) } \mathbf{m_3 = m_4 + m_5} \quad (10)$$

$$\text{Componente A) } \mathbf{m_3 * X_{A3} = m_4 * X_{A4} + m_5} \quad (11)$$

$$\text{Componente B) } \mathbf{m_3 * X_{B3} = m_4 * X_{B4}} \quad (12)$$

$$\text{Componente C) } \mathbf{m_3 * X_{C3} = m_4 * X_{C4}} \quad (13)$$

Ecuaciones por especificaciones del proceso:

Sumatoria de las fracciones másicas de los componentes de \mathbf{m}_3 :

$$X_{A3} + X_{B3} + X_{C3} = 1 \quad (14)$$

Sumatoria de las fracciones másicas de los componentes de \mathbf{m}_4 :

$$X_{A4} + X_{B4} + X_{C4} = 1 \quad (15)$$

Relación entre \mathbf{m}_3 y \mathbf{m}_4 :

$$Y_1 * \mathbf{m}_3 = \mathbf{m}_4 \quad (16)$$

Relación entre \mathbf{m}_3 y \mathbf{m}_5 :

$$Y_2 * \mathbf{m}_3 = \mathbf{m}_5 \quad (17)$$

Sumatoria de las fracciones másicas de las porciones \mathbf{m}_4 y \mathbf{m}_5 en \mathbf{m}_3

$$Y_1 + Y_2 = 1 \quad (18)$$

Al igual que en la etapa anterior, la ecuación del balance de masa total, ecuación (10) puede ser obtenida sumando las ecuaciones (11), (12), (13), (14) y (15); o bien, sumando las ecuaciones (16), (17) y (18); por lo que de las 9 ecuaciones anteriores solo 7 de ellas serán independientes. Para escoger el sistema compatible de ecuaciones se deberá tener mucho cuidado de no tomar ecuaciones linealmente dependientes, por ejemplo, Si se va a tomar la ecuación (10), entonces se deberá prescindir una ecuación del grupo de ecuaciones conformado por (11), (12), (13), (14) y (15) y también prescindir de otra ecuación del grupo conformado por las ecuaciones (16), (17) y (18).

3 Composiciones en sistemas heterogéneos

En un sistema heterogéneo, la composición de la masa total no resulta muy sencilla de calcular. Una forma sencilla consiste en plantear una "separación hipotética" de la masa, con las etapas necesarias para lograr obtener la total separación de cada uno de sus componentes. La fig. 4 muestra una separación hipotética de la masa \mathbf{m}_4 en dos etapas sucesivas.

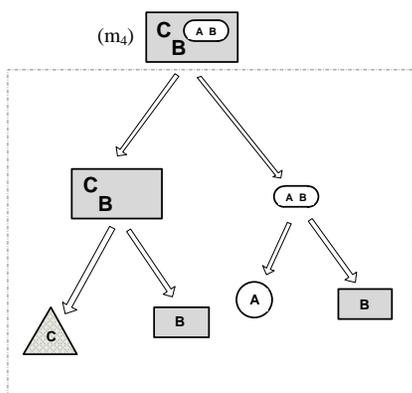


Figura 4. Separación hipotética de la masa \mathbf{m}_4 con dos etapas sucesivas

En este procedimiento se hace necesario definir algunas variables adicionales que facilitarían los cálculos, como por ejemplo: porciones de materia (masas) dentro de la masa en estudio, fracciones másicas de estas porciones de materia en la masa total, composiciones parciales (de las masas involucradas), etc. Para el ejemplo en estudio haremos las siguientes definiciones:

\mathbf{m}_6 es la porción de la masa \mathbf{m}_4 que contiene a todo el componente C combinado con parte del componente B.

\mathbf{m}_7 es la porción de la masa \mathbf{m}_4 (masa "AB" en el esquema de la figura 4) que presenta la misma composición de la masa \mathbf{m}_1 (composición conocida: X_{A1} y X_{B1})

Z_1 es la fracción másica de \mathbf{m}_6 en \mathbf{m}_4

Z_2 es la fracción másica de \mathbf{m}_7 en \mathbf{m}_4

X_{B6} es la fracción másica del componente B en la porción de masa \mathbf{m}_6

X_{C6} es la fracción másica del componente C en la porción de masa \mathbf{m}_6

m_{ij} es la masa del componente i puro, contenido en la masa m_j . Para $i = A, B$ ó C y $j = 6$ ó 7

La figura 5 muestra la separación hipotética de la masa \mathbf{m}_4 , incluyendo las variables definidas previamente para determinar su composición.

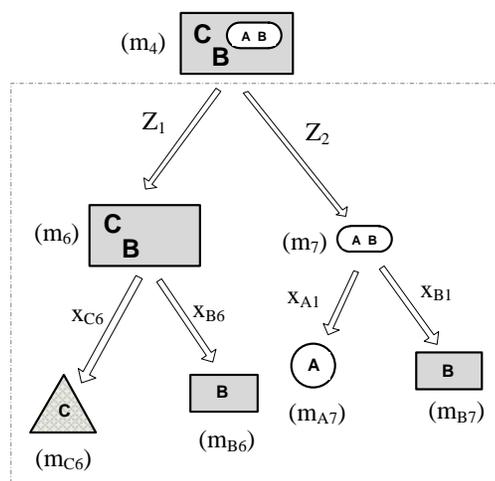


Figura 5. Separación hipotética de la masa \mathbf{m}_4 , con las variables involucradas en cada etapa

La composición de la masa \mathbf{m}_4 puede ser determinada de la siguiente forma:

$$X_{A4} = \frac{m_{A4}}{m_4} = \frac{m_{A7}}{m_4} = \frac{m_7 * X_{A1}}{m_4} = \frac{(m_4 * Z_2) * X_{A1}}{m_4} = Z_2 * X_{A1} \quad (19)$$

donde \mathbf{m}_{A4} es la masa del componente A en la masa \mathbf{m}_4

$$\begin{aligned}
 X_{B4} &= \frac{m_{B4}}{m_4} = \frac{m_{B7} + m_{B6}}{m_4} \\
 &= \frac{m_7 * X_{B1} + m_6 * X_{B6}}{m_4} \\
 &= \frac{m_4 * Z_2 * X_{B1} + m_4 * Z_1 * X_{B6}}{m_4} \quad (20) \\
 &= Z_2 * X_{B1} + Z_1 * X_{B6}
 \end{aligned}$$

donde m_{B4} es la masa del componente B en la masa m_4

$$\begin{aligned}
 X_{C4} &= \frac{m_{C4}}{m_4} = \frac{m_{C6}}{m_4} = \frac{m_6 * X_{C6}}{m_4} = \frac{(m_4 * Z_1) * X_{C6}}{m_4} \\
 &= Z_1 * X_{C6} \quad (21)
 \end{aligned}$$

donde m_{C4} es la masa del componente C en la masa m_4

Sustituyendo las ecuaciones (19), (20) y (21) en las ecuaciones (11), (12) y (13) tendremos finalmente las ecuaciones de los balances de materia para cada componente en función de los datos disponibles:

$$\begin{aligned}
 \text{Componente A)} \quad m_3 * X_{A3} &= m_4 * (Z_2 * X_{A1}) + m_5 \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Componente B)} \quad m_3 * X_{B3} &= m_4 * (Z_2 * X_{B1} + Z_1 * X_{B6}) \quad (23)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Componente C)} \quad m_3 * X_{C3} &= m_4 * (Z_1 * X_{C6}) \quad (24)
 \end{aligned}$$

Sin embargo las ecuaciones anteriores (22), (23) y (24) pueden ser determinadas más fácilmente, siguiendo una "estrategia de ramificaciones"; que no son más que la representación gráfica de los balances de materia de cada componente en la separación hipotética de una cierta masa. A continuación se explica detalladamente esta técnica.

4 Estrategia de Ramificaciones

En la estrategia de ramificaciones primeramente realizamos un esquema que representa el fraccionamiento de masas, desde la masa mayor hasta la masa (o masas) de interés que contiene el producto deseado; *resaltando la ruta (o rutas)* que seguiría el componente deseado en todo el proceso de separación hipotético. Por lo general este paso se obvia y se procede directamente a realizar una trayectoria simplificada del fraccionamiento, pero lo detallaremos en este ejemplo a manera de ilustrar mejor el procedimiento a seguir.

A continuación, en la fig. 6 se muestra la separación hipotética de la masa m_4 , incluyendo las rutas que sigue el componente A en su separación desde la masa m_3 . La fig. 7 muestra la trayectoria simplificada.

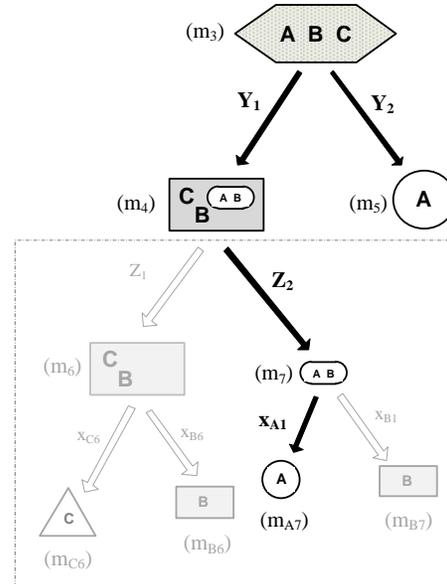


Figura 6. Separación hipotética de la masa m_4 y las rutas que sigue el componente A desde m_3

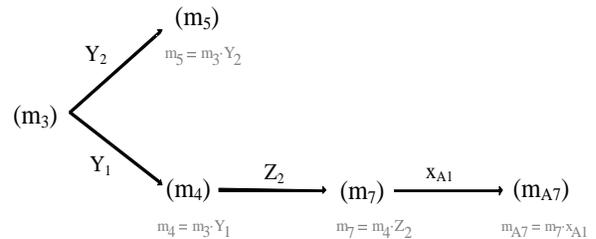


Figura 7. Rutas que sigue el componente A en la separación de la masa m_3

La masa del componente de interés que se encuentra al final de cada ramificación (m_{ij}) se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$m_{ij} = m_o * \prod_{k=1}^n X_k \quad (25)$$

donde:

m_{ij} es la masa del componente i en la porción de materia j (es decir, es la masa del componente puro al final de una ramificación)

m_o es la masa inicial a fraccionar

X_k es la fracción másica en la etapa k

n es el número de etapas en la separación.

Así para determinar m_{A7} (la masa del componente A en la porción de masa m_7), multiplicamos a la masa m_3 por todas las fracciones másicas en línea directa, desde m_3 hasta m_7 , incluyendo la fracción másica del componente A en la masa m_7 :

$$m_{A7} = m_3 * (X_1) * (X_2) * (X_3) = m_3 * (Y_1) * (Z_2) * (X_{A7}) \quad (26)$$

Con la especificación previa del proceso, $X_{A7} = X_{A1}$, se tiene finalmente:

$$m_{A7} = m_3 (Y_1) * (Z_2) * (X_{A1}) \quad (27)$$

Así mismo, la fracción másica del componente i en la masa inicia m_o (la llamaremos X_{io}) se puede determinar multiplicando todas las fracciones másicas en línea directa entre m_o y m_{ij} :

$$X_{io} = \frac{m_{ij}}{m_o} = \prod_{k=1}^n X_k \quad (28)$$

Así observando la figura 7, la fracción másica de A en la masa m_4 , X_{A4} , se puede calcular fácilmente con ayuda de la ecuación 28:

$$X_{A4} = Z_2 * X_{A1} \quad (29)$$

Para determinar la fracción másica de A en la masa m_3 , se deben tomar en cuenta las dos rutas que sigue el componente A, a partir de la masa m_3 :

$$X_{A3} = Y_2 + Y_1 * Z_2 * X_{A1} \quad (30)$$

De manera general para cualquier componente que sigue más de una ruta se tiene,

$$X_{io} = \frac{m_{ij}}{m_o} = \sum_{\text{rutas}} \left(\prod_{k=1}^n X_k \right) \quad (31)$$

A continuación, la figura 8 muestra los cálculos directos de m_{A5} y m_{A7} sobre el esquema simplificado de la figura 7.

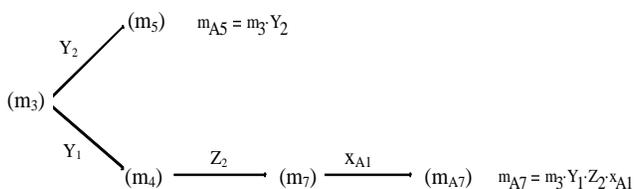


Figura 8. Rutas que sigue el componente A en la separación de la masa m_3 mostrando el cálculo directo de m_{A5} y m_{A7} .

Un balance de materia nos dice que todo el componente de interés (A) que hay en la porción inicial, m_{A3} , es exactamente el mismo que se encuentra al final de las ramificaciones m_{A5} y m_{A7} ,

$$m_{A3} = m_{A5} + m_{A7} \quad (32)$$

Sustituyendo,

$$m_3 * X_{A3} = m_3 * Y_2 + m_3 * Y_1 * Z_2 * X_{A1} \quad (33)$$

Recordando que $m_5 = m_3 * Y_2$ y que $m_4 = m_3 * Y_1$, finalmente obtendremos la ecuación

$$m_3 * X_{A3} = m_5 + m_4 * Z_2 * X_{A1} \quad (34)$$

La ecuación (34) es idéntica a la ecuación (22), pero obtenida de manera mucho más fácil y práctica. Con la ayuda de las ecuaciones (28) y (31) y siguiendo las rutas de la fig. 8, se obtienen directamente las fracciones másicas X_{A3} y X_{A4} :

$$X_{A3} = Y_2 + Y_1 * Z_2 * X_{A1} \quad (35)$$

$$X_{A4} = Z_2 * X_{A1} \quad (36)$$

5 Aplicación de la estrategia propuesta

Para mostrar la técnica desarrollada en este trabajo, se procede a resolver un problema de cristalización contenido en libro texto Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering de Himmelblau D., (séptima edición), el cual ha sido ligeramente modificado con la finalidad de ilustrar la aplicación de la estrategia de ramificaciones.

En la figura 9 se muestran los datos de un Evaporador-Cristalizador-Secador. Los flujos másicos F, A, R, W_1 , B, C, W_2 y D están libras/hora. La alimentación (F) consta de 10000 libras de solución de nitrato de potasio al 20 % más una cierta cantidad de impurezas solubles en agua. Determine:

- 1) Composición de los cristales húmedos y secos
- 2) La corriente de recirculación en libras por hora

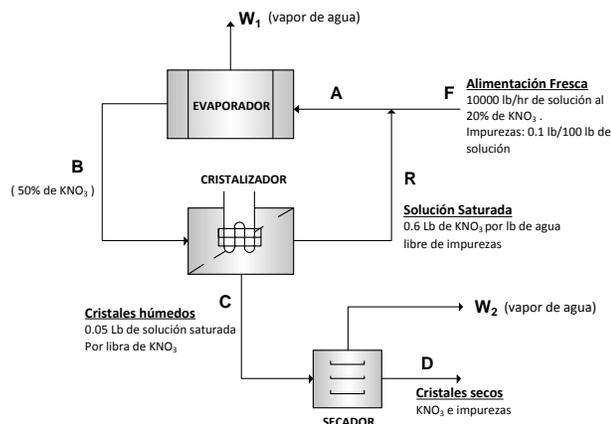


Fig. 9 Esquema del proceso de cristalización

5.1 Análisis del problema

Observando la fig.9, se puede concluir que existen cuatro (4) sistemas independientes como máximo a escoger (5 posibles menos uno de ellos: proceso global, evaporador, cristizador, punto de mezcla y el secador). Ya que no se solicita ninguna información de la corriente que entra al evaporador (corriente A), evitaremos escoger el punto de mezcla como un sistema aislado para así lograr tener un sistema reducido de ecuaciones independientes.

5.2 Solución del problema

Primeramente se escogerá una base de cálculo que permita la mejor forma de resolver el problema, en función de ello se escoge como base de cálculo una (1) hora de operación (lo cual equivale a decir que 10000 libras de disolución entran al proceso en la corriente F). Seguidamente, escogemos el primer sistema para generar las ecuaciones linealmente independientes; de ser necesario se escogerán los demás sistemas necesarios hasta un máximo de cuatro como se mencionó anteriormente.

5.2.1 Sistema I

El sistema I lo constituyen el evaporador, el punto de mezcla y el cristizador. Tres componentes intervienen en este primer sistema, KNO₃ (1), Agua (2), e Impurezas (3). Primeramente, fraccionamos la masa heterogénea de cristales húmedos (separación hipotética) en los componentes de interés, tomando en cuenta que la composición de la solución saturada adherida a los cristales es exactamente la misma de la corriente de recirculación:

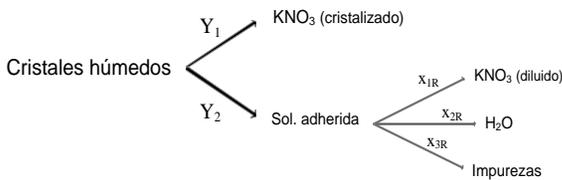


Fig. 10 Separación hipotética de los cristales húmedos

donde:

Y₁ y Y₂ son las fracciones másicas de cristales (KNO₃ sólido) y de solución adherida respectivamente.

X_{1R}, X_{2R} y X_{3R} son las fracciones másicas de KNO₃, agua e impurezas, en la corriente de recirculación.

La fig. 11 muestra el sistema I simplificado. En la figura se aprecia la separación hipotética de los cristales húmedos. Aunque la masa total de entrada (F) pudiera ser también separada hipotéticamente para conocer su composición global, solo nos enfocaremos en la masa total de los cristales húmedos (C) para aplicar esta técnica por dos razones: la primera porque determinar la composición de la masa de en-

trada es sumamente fácil (no ocurre lo mismo con la masa de los cristales húmedos) y la segunda para que la aplicación de la técnica tenga una mejor comprensión en el presente trabajo.

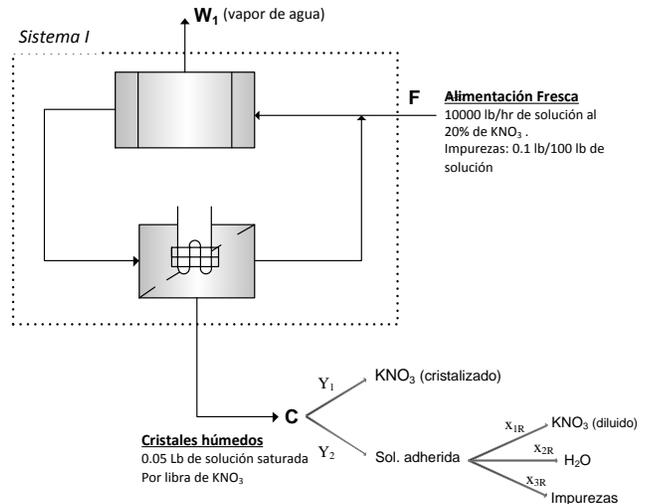


Fig. 11 Sistema I con la separación hipotética de la masa de interés

5.2.1.1 Ecuaciones generadas en el sistema I

Ecuaciones por balances de materia:

Los tres componentes que intervienen en este proceso indican que tres son las ecuaciones linealmente independientes que pueden obtenerse de los balances de materia. Se escogen el balance de masa total, el balance de masa en soluto (KNO₃) y el balance de masa en impurezas, dejando por fuera el balance de masa en agua. Las ecuaciones son:

Balance de masa total,

$$10000 + 10000 * \left(\frac{0.1}{100}\right) = W_1 + C \quad (37)$$

Balance de masa en KNO₃,

$$10000 * 0.2 = C * Y_1 + C * Y_2 * X_{1R} \quad (38)$$

Balance de masa en impurezas,

$$10000 * \left(\frac{0.1}{100}\right) = C * Y_2 * X_{3R} \quad (39)$$

Ecuaciones por especificaciones del proceso:

Suma de las fracciones másicas en R,

$$X_{1R} + X_{2R} + X_{3R} = 1 \quad (40)$$

Suma de las fracciones másicas de cristales puros (KNO₃ sólido) y de solución adherida en los cristales húmedos (corriente C),

$$Y_1 + Y_2 = 1 \quad (41)$$

$$\text{Lb KNO}_3/\text{LbH}_2\text{O (libre de impurezas) en R,} \\ (\mathbf{R} * \mathbf{x}_{1R})/(\mathbf{R} * \mathbf{x}_{2R}) = \mathbf{0.6} \quad (42)$$

$$\text{Lb solución saturada/Lb cristales (KNO}_3 \text{ sólido) en C,} \\ (\mathbf{C} * \mathbf{Y}_2)/(\mathbf{C} * \mathbf{Y}_1) = \mathbf{0.05} \quad (43)$$

De la ecuación (37) a la (43) se ha formado un sistema compatible de 7 ecuaciones con 7 incógnitas, que resuelve parcialmente, las preguntas en el enunciado del problema. La solución al sistema de ecuaciones nos arrojan los siguientes resultados de las 7 incógnitas:

$$W1=7944.78\text{lbs, } C=2065.22\text{lbs, } x_{1R}=0.337, \quad x_{2R}=0.561, \\ x_{3R}=0.102, Y_1=0.952 \text{ y } Y_2=0.048.$$

Haciendo uso de la estrategia de ramificaciones (ecuaciones 28 y 31, y la figura 10) podemos determinar fácilmente la composición de los cristales húmedos, lo cual constituye la respuesta a la primera pregunta del problema,

$$\mathbf{x}_{1C} = \mathbf{Y}_1 + \mathbf{Y}_2 * \mathbf{x}_{1R} \quad (44)$$

$$\mathbf{x}_{2C} = \mathbf{Y}_2 * \mathbf{x}_{2R} \quad (45)$$

$$\mathbf{x}_{3C} = \mathbf{Y}_2 * \mathbf{x}_{3R} \quad (46)$$

Los resultados son $x_{1C}=0.968$, $x_{2C}=0.027$, $x_{3C}=0.005$

5.2.2 Sistema II

Con el fin de determinar el valor de la corriente de recirculación R, El sistema II está representado por el cristizador. Tres componentes intervienen en este segundo sistema, KNO₃ (1), Agua (2), e Impurezas (3). Utilizaremos la composición global de la corriente C determinada previamente, lo cual facilitará considerablemente los cálculos en este segundo sistema. La fig. 12 muestra el sistema II escogido para este propósito.

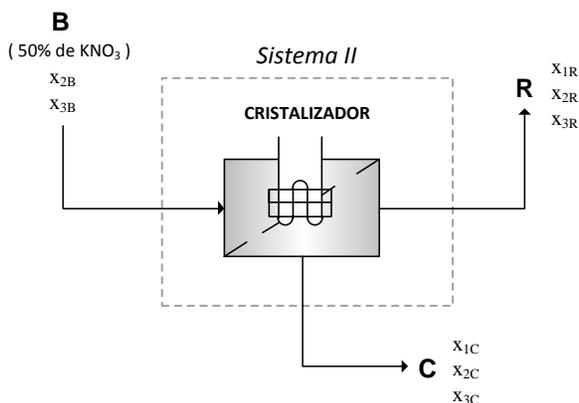


Fig. 12 Sistema II representado por el cristizador

5.2.2.1 Ecuaciones generadas en el sistema II

Ecuaciones por balances de materia:

Al igual que en el sistema anterior, tres componentes definen el número máximo de ecuaciones linealmente independientes que pueden obtenerse por balances de materia. Un balance de masa total en este sistema y un balance de masa en soluto son más que suficientes para determinarlas libras de la corriente de circulación, R, quien representa la respuesta a la segunda pregunta del problema,

$$\text{Balance de masa total,} \\ \mathbf{B} = \mathbf{C} + \mathbf{R} \quad (47)$$

$$\text{Balance de masa en KNO}_3, \\ \mathbf{B} * \mathbf{0.5} = \mathbf{C} * \mathbf{x}_{1C} + \mathbf{R} * \mathbf{x}_{1R} \quad (48)$$

El sistema de ecuaciones formado por las 2 ecuaciones (47) y (48) permiten fácilmente determinar las dos únicas incógnitas allí presentes, B y R. los resultados son B=7995.35lbs y R=5930.14lbs.

6 Conclusiones

El presente trabajo desarrolla una técnica basada en separaciones hipotéticas de compuestos heterogéneos, que mediante el uso de los balances de materia, permite determinar su composición global de manera mucho más fácil y práctica que las técnicas convencionales. A esta técnica se le llamó *Estrategia de Ramificaciones*.

Los balances de materia en sistemas heterogéneos, son más sencillos de realizar usando la estrategia de ramificaciones, lo cual disminuye considerablemente el grado de dificultad de resolución de estos complejos sistemas, dándole a esta técnica una importante relevancia tanto en la parte académica como en la parte industrial.

Referencias

- Felder RM, 2000, Elementary Principles of Chemical Process, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Himmelblau DM, 2004, Basic Principles and Chemical Engineering, Seventh Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Scopatz A, Schneider E, 2009, A new method for rapid computation of transient fuel cycle material balances, Nuclear Engineering and Design (Elsevier), 239, pp. 2169–2184.
- Veverka VV, 1997, Material and Energy Balancing in the Process Industries, First Edition, Elsevier.

García, Yohn: *PhD en Ingeniería Química, Universidad del Sur de la Florida, USF, Tampa, Florida, EEUU, 2006.*

Flujo de carga óptimo con restricciones de seguridad y fuentes de energía intermitentes

Becerra, Daniel*; Muñoz, Juan Carlos; Mora, Ernesto; Mora, Pedro; Ballester, Lelis Nelson
Departamento de Potencia, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Los Andes,
Merida, Venezuela.
*danibecerra02@hotmail.com.

Resumen

Las fuentes renovables de energía, tales como la energía solar y eólica, presentan intermitencia en la potencia generada debido a la naturaleza variable de la radiación solar y de la velocidad del viento. Por lo tanto, un sistema de potencia con una alta penetración de estos tipos de fuentes de energía presenta variaciones considerables en los flujos de potencia. Estas variaciones en los flujos de potencia representan un reto para la planificación y operación de cualquier sistema de potencia, ya que por un lado se debe disponer de suficientes reservas de potencia activa y reactiva para mantener el balance de potencia en cualquier instante de tiempo, y por otro lado se debe garantizar la seguridad del sistema. El flujo de carga óptimo es una herramienta fundamental en la planificación y operación de los sistemas de potencia. Mediante el flujo de carga óptimo con restricciones de seguridad se pueden tomar decisiones operativas y de planificación que benefician al sistema de potencia desde el punto de vista económico, mientras se satisfacen restricciones que permiten asegurar su operación satisfactoria. Por lo tanto, en este trabajo de investigación, se propone una metodología basada en simulaciones de Monte Carlo, para tomar en cuenta las incertidumbres asociadas a las fuentes de generación eólica y solar, además de las restricciones de seguridad del sistema en un flujo de carga óptimo. Mediante la metodología propuesta, se pueden determinar los intervalos de confianza y las funciones de probabilidad para la potencia de salida de los generadores despachables, manteniendo una operación segura y económica del sistema. Esta metodología es probada en un sistema IEEE de 300 barras, obteniéndose resultados satisfactorios para la planificación de dicho sistema.

ISBN: 978-980-11-1858-9



1 Introducción

Los sistemas de potencia tradicionales están diseñados para operar principalmente con generación hidroeléctrica, termoeléctrica y nuclear. Estas fuentes de energía ofrecen la ventaja de ser despachables, y por lo tanto el comportamiento de los sistemas con estos tipos de generación es predecible y ha sido ampliamente estudiado y optimizado. En la actualidad, la preocupación por el calentamiento global y el desarrollo de nuevas tecnologías ha motivado el uso cada vez más creciente de fuentes de energías alternativas tales como la solar y la eólica. Ambas fuentes de energía tienen la ventaja de ser amigables con el medio ambiente; sin embargo, su naturaleza intermitente supone un reto importante para la operación y planificación de los sistemas de potencia. En este sentido, varios estudios se han realizado en relación a la inclusión de las nuevas formas de generación a los sistemas convencionales (Ceballos 2012, Heras 2011, Martín 2011, Muñoz 2011, Ortiz 2007, Ponce y col., 2012). Específicamente, (Ponce y col., 2012) proponen un modelo probabilista que presenta una metodología para el diseño de modelos de planificación Óptima de la Generación Distribuida en las redes de distribución, además toma en cuenta la aleatoriedad de la generación por energías renovables y la producida por parte de las variaciones de cargas. Para los modelos probabilistas se usan simulaciones de Monte Carlo y la programación es realizada por medio de GAMS (GeneralAlgebraicModelingSystem). Por su parte, (Heras 2011) se centra en la optimización de un flujo de carga considerando solo generación eólica como energía renovable en un sistema de potencia IEEE de 118 barras.

En el presente artículo se presenta un flujo de carga óptimo con restricciones de seguridad, y considerando simultáneamente las incertidumbres asociadas a las fuentes de energía solar y eólica. La metodología propuesta está basada en el uso de la herramienta computacional Matpower®, y simulaciones de Monte Carlo. Las incertidumbres asociadas a ambos tipos de generación son modeladas en detalle, y los intervalos de confianza y funciones de probabilidad de los generadores despachables son obtenidos.

La estructura de este artículo es la siguiente: en la sección 2, se presentan conceptos básicos relativos a simulaciones de Monte Carlo, flujo de carga óptimo, restricciones de seguridad, modelado de turbinas eólicas y generación fotovoltaica, y se describe la herramienta Matpower.

Posteriormente en la sección 3, se describe el algoritmo utilizado. Finalmente en la sección 4, se presentan y analizan los resultados obtenidos de aplicar la metodología propuesta en el sistema IEEE de 300 barras resultante.

2 Marco Teórico

2.1 Simulaciones de Monte Carlo

Las simulaciones de Monte Carlo se corresponden con un método estadístico numérico, utilizado para la solución de

problemas matemáticos y físicos complejos, siendo ca-paz de generar números de forma aleatoria e independiente. Su error depende directamente del número de muestras aleatorias, de la siguiente forma: (Palacios s.f.)

$$E = 1/\sqrt{N} \quad (1)$$

2.2 Flujo de Carga Óptimo

El flujo de carga es la solución en estado estacionario de las ecuaciones de balance de potencia de un sistema. Se hace referencia a un flujo de carga óptimo cuando se considera una función objetivo y restricciones (Lopez y col., 2008). Las funciones objetivo más comunes se refieren a la minimización de las pérdidas totales del sistema y/o los costos de generación. Las restricciones por su parte están referidas al balance de potencia activa y reactiva, además de restricciones en ciertas variables. La función objetivo correspondiente a la minimización de pérdidas totales en las líneas de transmisión, así como también las ecuaciones del balance de potencia se pueden escribir de la siguiente forma:

$$\min \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|V_i|^2 + |V_j|^2 - 2|V_i||V_j| \cos(\delta_i - \delta_j)) G_{ij} \quad (2)$$

$$Pd_i - Pg_i + \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = 0 \quad (3)$$

$$Qd_i - Qg_i + \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = 0 \quad (4)$$

En donde n es el número de barras, V es la tensión de barra, δ es el ángulo de la tensión de barra, G es la conductancia serie de la línea de transmisión, Y es la admitancia del sistema, Pd y Qd son las potencias activa y reactiva de carga, respectivamente, Pg y Qg son las potencias activa y reactiva generadas, respectivamente, y θ es el ángulo de la admitancia Y . La función objetivo usada en este artículo consiste en la minimización de los costos de generación, dados por la siguiente ecuación:

$$\min_{\theta, V, P, Q} \sum_{i=1}^{ng} f^i p(P^i g) + f^i Q(q^i g) \quad (5)$$

2.3 Restricciones de Seguridad

Las restricciones de seguridad garantizan una operación segura del sistema bajo condiciones normales de operación y ante posibles contingencias. Entre estas restricciones se tienen por ejemplo, aquellas referidas al flujo de potencia máximo que puede circular a través de las líneas de transmisión. Las ecuaciones que permiten determinar este flujo de potencia, basadas en el circuito equivalente para líneas cortas, pueden escribirse como (Muñoz 2011):

$$|V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j) \leq P_{maxij} \quad (6)$$

$$|V_i|^2 |Y_{ij}| - |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j) \leq Q_{maxij} \quad (7)$$

Las principales variable eléctricas del sistema, también pueden limitarse para asegurar una operación aceptable del sistema, de acuerdo a las siguientes restricciones:

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (8)$$

$$P_{min} \leq |P_{g_i}| \leq P_{max} \quad (9)$$

$$Q_{min} \leq |Q_{g_i}| \leq Q_{max} \quad (10)$$

2.4 Modelado de las Turbinas Eólicas

La velocidad del viento se modela en éste artículo usando una distribución de Weibull con parámetro de forma igual a 2, correspondiendo a la distribución de Rayleigh, siendo ésta la normalmente usada para el modelado estocástico del viento cuando se considera un periodo de planificación de largo o mediano plazo. En la figura 1, se muestra la distribución de Rayleigh usada para las turbinas eólicas.

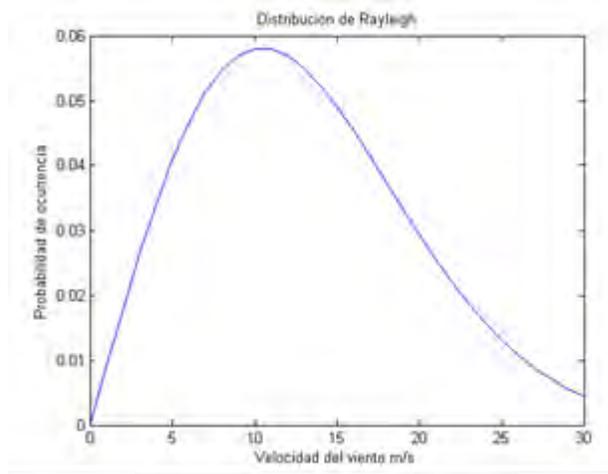


Fig 1. Distribución Rayleigh para el Viento.

Una vez que se extrae la energía cinética que produce el viento al interactuar con las aspas del aerogenerador, a través del rotor se transforma en potencia mecánica, y por medio de un generador se convierte en potencia eléctrica. Para el modelado del aerogenerador se utiliza el siguiente submodelo aerodinámico que relaciona la velocidad del viento V_w con la potencia generada P_w :

$$P_w = \frac{\rho}{2} * \pi * \frac{D^2}{4} * C_p(\beta, \lambda) V_w^3 \quad (11)$$

En donde ρ es la densidad del aire, D es el diámetro de las aspas del rotor, β es el ángulo de las aspas del rotor, λ es la relación de velocidad del rotor respecto a la velocidad del viento, y C_p es el coeficiente de desempeño, el cual tiene la siguiente relación para la turbina modelada (MathWorks2016):

$$C_p = 0,22 * \frac{116}{\lambda i} - 0,4\theta - 5e^{\frac{12,5}{\lambda i}} \quad (12)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{Wm * D}{V_w} \quad (13)$$

$$\lambda i = \frac{1}{\frac{1}{\lambda + 0,08\theta} + \frac{0,035}{\theta^3 + 1}} \quad (14)$$

Se establece como velocidad nominal de operación 13.08 m/s, por lo tanto, λ para la extracción de máxima potencia tiene un valor de 6.3, tal y como se muestra en la figura 2.

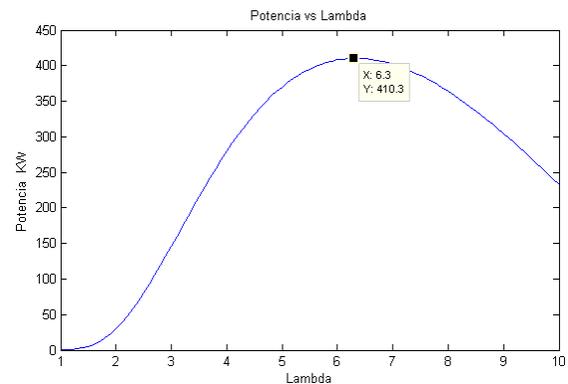


Fig. 2. Potencia generada vs coeficiente de desempeño.

La curva característica para la potencia generada en función de la velocidad del viento se muestra en la figura 3. A partir de una velocidad del viento de 35 m/seg, el generador eólico se desconecta para evitar daños al mismo. Por debajo de 4 m/seg, la potencia generada también es nula.

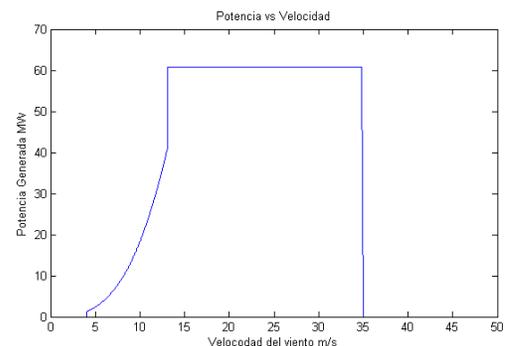


Fig. 3. Característica de Potencia vs Velocidad.

2.5 Modelado del generador fotovoltaico

Para el modelado del comportamiento estocástico de la irradiancia solar, se usa una distribución de probabilidad uniforme para valores entre 0 y 8000 W/m2. Una vez la radiación solar incide en las celdas, estas generan corriente

continua, la cual a través de un inversor se convierte en corriente alterna. Un histograma para 16000 muestras aleatorias de la distribución uniforme de la radiación se muestra en la figura 4.

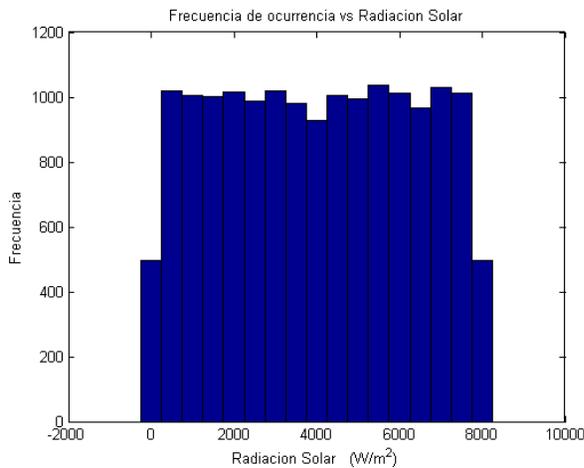


Fig. 4 Histograma para la radiación solar.

Para el modelado de la celda fotovoltaica se utiliza el circuito equivalente mostrado en la figura 5 (Enerpoints.f.,MathWorks 2016, Mires 2011) .

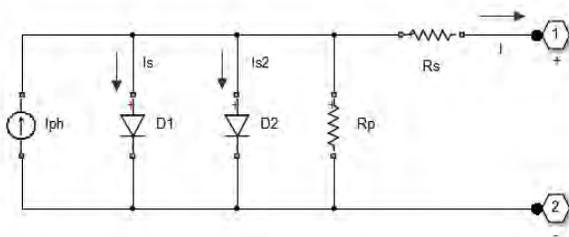


Fig. 5. Circuito equivalente de la celda fotovoltaica.

Por simplificación, se consideran la corriente de saturación del segundo diodo y la resistencia Rs nulos, además de una impedancia Rp infinita, resultando en la siguiente ecuación:

$$I = I_{ph} - I_s * \left(e^{\frac{V+I \cdot R_2}{N \cdot V_t}} - 1 \right) \quad (15)$$

En donde la corriente solar inducida I_{ph} se calcula de la siguiente manera:

$$I_{ph} = I_{ph0} * \frac{I_r}{I_{r0}} \quad (16)$$

I_r es la irradiancia en la celda, I_{r0} es la irradiancia base (1000 W/m²), I_{ph0} es la corriente inducida por una irradiancia I_{r0} , I_s es la corriente de saturación del primer diodo, V_t es el voltaje térmico, N es el coeficiente de factor de calidad en el diodo 1, y V es el voltaje a lo largo de los puertos de la celda solar. La figura 6 muestra la curva característica

de la celda solar para irradiancia constante y voltaje variable. A partir de esta curva, y mediante el uso de aproximación de curvas, se obtiene la potencia generada P_{gen} en función de la radiación solar I_{rra} de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{gen} = 0,04046 * I_{rra} - 6,365 \quad (17)$$

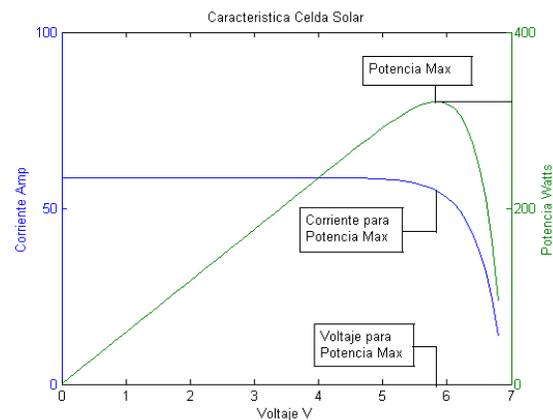


Fig.6. Curva característica de la celda solar.

2.6 Matpower

Matpower (Zimmerman 2015) es un paquete de extensión de Matlab, creada para resolver problemas de flujo de carga y optimización, es una herramienta de simulación que contiene estructuras precargadas de sistemas de potencia basadas en código, ofreciendo la posibilidad de ser modificables para adaptarse a las necesidades del usuario. Se vincula con Matlab por medio de archivos de extensión archivo.m, los códigos pre-escritos de Matpower se encuentran en este formato, y su simulación exige que el código que se elabora debe ser de la misma forma.

3 Metodología propuesta

La metodología propuesta para considerar las variaciones estocásticas de la generación solar fotovoltaica y la generación eólica se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 7. La forma de interactuar con Matpower es por medio de líneas de código de Matlab, a través de las cuales se especifican las condiciones del sistema y el proceso a utilizar.

La secuencia implementada consiste en generar de forma independiente todos los valores y combinaciones posibles partiendo de las simulaciones de Monte Carlo para el modelado de los factores estocásticos de entrada, (radiación solar y velocidad del viento usando las funciones de probabilidad descritas en las Secciones 2.4 y 2.5). Una vez obtenidos los valores de entrada para cada tipo de generador, los modelos discutidos para ambos generadores de acuerdo a las ecuaciones (11)-(17) permiten simular el comportamiento de ambas plantas de generación y por lo tanto crear las

variaciones de potencia eléctrica generada. Para la solución del flujo de carga óptimo, se considera como función objetivo la minimización de los costos de generación de los generadores despachables, de acuerdo a la ecuación (5). Las restricciones se corresponden con el balance de potencia activa y reactiva de las ecuaciones (3) y (4), y las restricciones de seguridad dadas por las ecuaciones (6)-(10). El número de muestras de las simulaciones de Monte Carlo depende de la convergencia del valor promedio de los costos de generación.

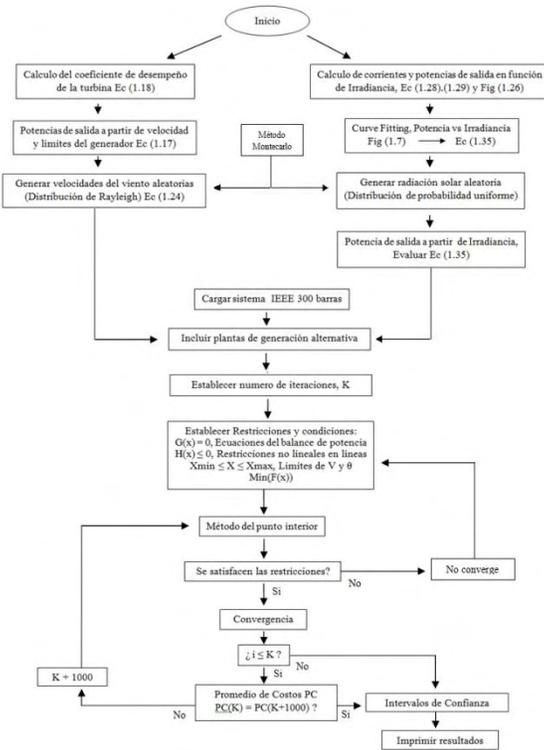


Fig. 7. Diagrama de Flujo para la Metodología Propuesta.

4 Resultados y Discusión

4.1 Descripción del sistema IEEE de 300 barras

La metodología anteriormente descrita es aplicada al sistema IEEE de 300 barras (Christie 1993), el cual tiene conectada una carga total de 23525.8 MW. Dicho sistema es modificado incluir generación fotovoltaica y generación eólica en las barras 2 y 5, respectivamente. Se establecen restricciones arbitrarias del flujo de potencia activa en las líneas 5, 40, 137 y 317, con valores de 50 MW, 130 MW, 280 MW y 350 MW, respectivamente. En la figura 8 se observa el número de iteraciones o muestras requeridas por las simulaciones de Monte Carlo para obtener la convergencia en los costos promedio de generación, alcanzándose convergencia a partir de aproximadamente 14000 iteraciones.

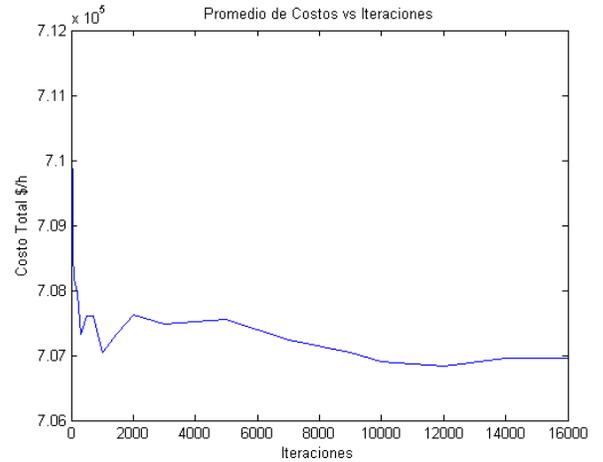


Fig. 8. Convergencia del valor promedio de los costos de generación.

En la figura 9 se muestra el histograma de la potencia entregada por el generador 36, en donde se puede observar la frecuencia con la cual se debe ajustar dicho generador y su respectivo valor de ajuste. Histogramas similares fueron obtenidos para el resto de los generadores del sistema.

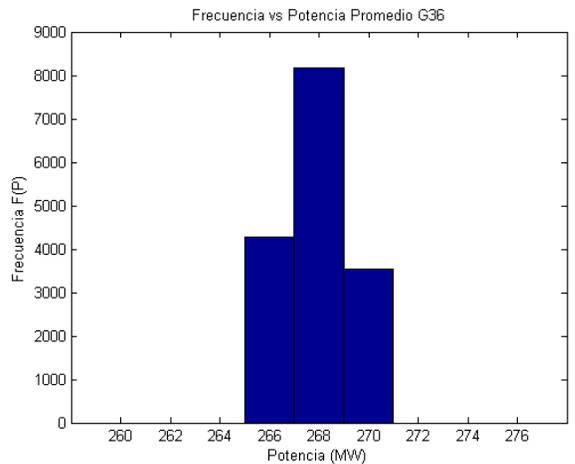


Fig. 9. Histograma para la potencia entregada por el generador 36.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la potencia promedio de los generadores despachables y sus respectivos intervalos de confianza del 95 %. Mediante estos intervalos de confianza, se pueden establecer las reservas necesarias para garantizar una operación económica y segura del sistema ante las variaciones estocásticas de la generación eólica y solar consideradas. De esta forma, los generadores sincrónicos convencionales deben ajustarse para mantener el balance de potencia en cada instante de tiempo. Cabe hacer notar que en estas simulaciones no se ha considerado las variaciones propias de la carga, lo cual conllevaría a intervalos de confianza más amplios.

Tabla 1: Resultados para Generadores Despachables.

Generador	Barra	P.Prom (MW)	I.Confianza (MW)
25	176	195.2	195.2 - 195.2
26	177	79.4	79.4 - 79.4
27	185	201.5	201.5 - 201.6
28	186	1167.6	1167.5 - 1167.7
29	187	1171.8	1171.7 - 1171.9
30	190	518.2	518.2 - 518.2
31	191	1880.3	1880.3 - 1880.3
32	198	440.3	440.3 - 440.3
33	213	274.1	274.1 - 274.1
34	220	108.4	108.4 - 108.4
35	221	491.7	491.7 - 491.7
36	222	267.9	267.9 - 267.9
37	227	335.5	335.5 - 335.5
38	230	364.8	364.8 - 364.8
39	233	332.7	332.7 - 332.7
40	236	635.3	635.3 - 635.4
41	238	266.1	266.1 - 266.1
42	239	579.0	579.0 - 579.0
43	241	608.4	608.3 - 608.4
44	242	175.6	175.6 - 175.6
45	243	85.4	85.4 - 85.4
46	7001	421.7	421.5 - 421.8
47	7002	502.8	502.5 - 503.1
48	7003	1114.3	1114.0 - 1114.6
49	7011	216.2	216.1 - 216.3
50	7012	348.2	348.1 - 348.3
51	7017	380.6	380.6 - 380.7
52	7023	163.2	163.1 - 163.2
53	7024	376.8	376.7 - 376.9
54	7039	509.8	509.7 - 509.9
55	7044	39.6	39.6 - 39.6
56	7049	64.8	64.7 - 64.9
57	7055	47.5	47.5 - 47.6
58	7057	158.5	158.5 - 158.5
59	7061	374.1	374.1 - 374.1
60	7062	378.0	378.0 - 378.0
61	7071	138.3	138.3 - 138.3
62	7130	1199.8	1199.5 - 1200.1
63	7139	712.0	711.9 - 712.1
64	7166	488.3	488.2 - 488.3
65	9002	25.4	25.4 - 25.4
66	9051	47.3	47.3 - 47.4
67	9053	43.9	43.8 - 44.0
68	9054	52.7	52.7 - 52.7
69	9055	8.4	8.4 - 8.4

5 Conclusiones

Con una confianza del 95 %, cualquiera de los valores incluidos en los intervalos es admisible para obtener un mínimo costo de generación, sin violar las restricciones establecidas, lo que permite al operador del sistema maniobrar y tomar las decisiones de despacho pertinentes ante las consecuencias de la variabilidad de la generación renovable. Es importante tener en cuenta que cualquier variación fuera del rango de confianza establecido, compromete el sistema y disminuye la garantía del funcionamiento adecuado del mismo. El algoritmo propuesto puede ser utilizado en planificación de largo y mediano plazo, en donde el tiempo de simulación no es una limitante. En el caso de decisiones de despacho de corto plazo (típicamente con 5 minutos de anticipación), se pueden utilizar herramientas de predicción de la velocidad del viento y la irradiancia solar, para limitar el

numero de iteraciones necesarias y por lo tanto reducir el tiempo total de simulación.

Referencias

- Ceballos S, 2012, La integración de Energías Renovables con altos niveles de penetración en Sistemas Eléctricos de Potencia. *Electro industria*, <http://faraday1.ucd.ie/psat.html>. Consultado en Noviembre 18, 2015. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1947>.
- Cheng H, Hou Y, Wu F, 2011, Probabilistic Wind Power Generation Model: Derivation and Applications, *International Journal of Energy / North Atlantic UnionNAUN [versión electrónica] Virtual Pro* Consultado en Noviembre 18, 2015. En <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/modelo-probabilistico-de-generacion-de-energia-eolica-derivacion-y-aplicaciones>.
- Christie R, 1993, 300 Bus Power Flow Test Case. Consultado en Mayo 6, 2016. Disponible en: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf300/pgtca300bus.htm>
- Enerpoint s.f, Célula fotovoltaica. Consultado en Febrero 26, 2016. Disponible en: <http://www.enerpoint.es/photovoltaic-technology-2.php>
- Heras R, 2011, Flujo de Cargas Óptimo Probabilístico, Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid.
- López J, Gallego L, 2008, Flujo de Potencia Óptimo con Restricciones de Seguridad usando un Método de Punto Interior *Scientia et Technica* Año XIV(39), Colombia, pp. 31-36.
- MathWorks 2016, Matlabhelp, Consultado en Mayo 6, 2016, Disponible en: <http://www.mathworks.com/help/>
- Martín R, 2011, Flujo de Carga Óptimo Probabilístico. Documento para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, España, pp. 1-69.
- Mires J, 2011, J218: Curvas genéricas de corriente y voltaje en células solares. Consultado en Abril 2, 2016. Disponible en: <https://jmirez.wordpress.com/2011/03/28/j218-curvas-genericas-de-corriente-y-voltaje-en-celulas-solares/>
- Muñoz J, 2011, Impacto de los Generadores Eólicos en la Estabilidad de los Sistemas de Potencia. Trabajo de ascenso. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela, pp. 11-35.
- Muñoz J, 2011, Project-10: Security constrained optimal power flow (scopf). Universidad de Waterloo. Ontario, Canadá, pp. 3-61.
- Ortiz M, 2007, Aplicación de Técnicas Probabilísticas al Análisis de Flujo con Generación Distribuida de Origen Eólico. Caso Práctico: Sistema Eléctrico Isla de Margarita. Documento para optar el título de Ingeniero Electricista. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela, pp. 17-91.
- Ponce C, Ñeco R, García L, Valenzuela R, Pastrana E, Guerra J, 2012, Modelo Óptimo Estocástico de Redes de Distribución con Generación Distribuida, *Culcy/Sustentabilidad*, No 57, Especial No 2., pp. 253-266.

Palacios C, s.f, Universidad Autónoma de Madrid. Método Montecarlo. Consultado en Abril 20, 2016. Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/montecarlo.html

Posso F, González J, Guerra F, Gómez H, 2014, Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. Revista Geo-gráfica Venezolana, 55(1), pp.27-43.

Twenergy 2011, Aerogeneradores: Que son y cómo funcionan. Consultado en Febrero 6, 2016. Disponible en: <http://twenergy.com/a/aerogeneradores-que-son-y-como-funcionan-375>.

Zimmerman R, Murillo-Sanchez C, 2015, Matpower 5.1.Users Manual.Power Systems Engineering Research Center (Pserc), pp. 9-168.

Becerra, Daniel: *Ingeniero Electricista, 2016, Universidad de Los Andes,*

Muñoz, Juan C.: *Ph.D. en Ingeniería Eléctrica y de Computación, University of Waterloo, 2013, Correo electrónico: juancarlmunoz@gmail.com.*

Mora, Ernesto: *MSc en Ingeniería Eléctrica. Correo electrónico: moraej@gmail.com.*

Mora, Pedro: *MSc en Ingeniería Eléctrica, RPI USA. Correo electrónico: ppedromora@gmail.com.*

Ballester, Lelis Nelson: *MSc en Sistemas Eléctricos de Potencia, Universidad de Los Andes, 2014. Correo electrónico: lnelson27@gmail.com*

Capítulo 59

Una estrategia de computación inteligente para optimizar la dosificación de reactivos en una planta potabilizadora de agua

Guerrero, Pablo¹; Calderón, Silvia¹; Montoya, Rubén¹; García, Jesús M.²; Mayorga, Omar¹; García, Yohn^{1*}

¹Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. ULA. Mérida 5101, Venezuela.

²Departamento Ingeniería Mecánica. Universidad del Norte. Barranquilla. Colombia.

*yohn@ula.ve

Resumen

La dosificación de reactivos en las plantas de tratamiento de agua por lo general resulta imprecisa, debido a diferentes factores que intervienen, como los modelos complejos de balances de materia, las variaciones en las condiciones climáticas y de operación, disponibilidad de reactivos y materias primas. Tal complejidad impide el uso de modelos convencionales en la estimación de la dosis requerida de reactivos para alcanzar la potabilidad del agua. En este estudio se propone el desarrollo de una estrategia de dosificación inteligente basándose en el uso de técnicas no convencionales, como la lógica difusa y los métodos de optimización utilizando redes neuronales artificiales. El modelo difuso relacionado con esta investigación es el de Takagi-Sugeno y se relaciona con un sistema de inferencia difusa neuro adaptativa (ANFIS). Los resultados obtenidos se compararon con un modelo lineal convencional y con un modelo no lineal entrenado con los datos obtenidos de las etapas de coagulación-floculación, desinfección y control de pH en la planta de tratamiento de agua ubicada en El Vigía, Mérida, Venezuela. Para el diseño de las normas difusas se consideraron los principios físicoquímicos que rigen los procesos de tratamiento de aguas. En todos los casos, el modelo Takagi-Sugeno y Anfis logró captar más del 91% de la varianza de los datos experimentales relacionados con la dosis requerida de sulfato de aluminio, lo que demuestra la factibilidad de uso de los sistemas inteligentes para modelar este tipo de procesos.

ISBN: 978-980-11-1858-9



9 789801 118589

1 Introducción

El agua es el compuesto que se encuentra en mayor proporción en el planeta y es el más importante para el desarrollo de la vida humana. A medida que transcurre el tiempo, la población y la industrialización crecen a nivel mundial, lo que conlleva a un mayor consumo de agua y a un aumento en los niveles de contaminación de las fuentes naturales de la misma, debido a la gran cantidad de desechos químicos producidos y al vertido de aguas residuales.

El agua presente en la naturaleza tiene ciertas características fisicoquímicas y biológicas que cambian a cada momento, lo que limita su uso para una necesidad específica. Si se requiere agua para el consumo doméstico, es necesario un proceso de potabilización, en donde el efluente cumpla con las normas sanitarias de calidad del agua potable (OMS, 2008).

En el proceso de potabilización es necesario controlar diversos parámetros como pH, turbidez, color, microorganismos patógenos, alcalinidad, dureza, temperatura entre otros, lo cual dependerá del tipo de fuente que alimente a la planta donde se realiza el proceso. Debido al alto número de variables a controlar y a las interacciones que ocurren entre ellas, el proceso es altamente complejo y por lo tanto, resulta complicado realizar una estimación que se acerque a la verdadera demanda de reactivos con métodos convencionales, lo que se traduce en un proceso poco óptimo y a pérdidas en costos de operación. Es por esto que es necesario el desarrollo de nuevas estrategias, que permitan estimar las dosis requeridas de forma precisa.

Es aquí donde justificamos el uso de la lógica difusa, cuya diferencia a la lógica convencional es la introducción de cierta imprecisión o vaguedad a los conjuntos en estudio, con el fin de imitar al pensamiento humano. El concepto de lógica difusa fue presentado por Zadeh (Zadeh, 1965), quien definió a los conjuntos difusos “fuzzy sets”. La idea fundamental de la lógica difusa es permitir que el grado de pertenencia de un valor contenido en un conjunto, pueda variar desde 0 hasta 1 en lugar de tomar sólo dichos valores.

Es por esto que con la lógica difusa se pueden obtener máquinas de predictivas mucho más eficientes y robustas con métodos conocidos como Mamdani (Mamdani, 1974) y Takagi-Sugeno (Takagi y Sugeno, 1985)

Con modelos tipo Mamdani se utilizan variables de salida lingüísticas tales como alto, bajo, caliente, frío etc. que son discretizadas de diferentes formas según la persona que realiza el modelo. Es por esto que mediante un proceso de extracción de conocimiento a los expertos en el proceso de potabilización de agua, se podría desarrollar un sistema predictivo más eficiente, ya que se traduce la experiencia a un lenguaje de inferencia que puede ser interpretado por la máquina predictiva.

Con modelos tipo Takagi-Sugeno, se realiza un descubrimiento del conocimiento a partir de la base de datos recopilada en el tiempo por los operadores en planta, permitiendo desarrollar máquinas predictivas basadas en la

operación histórica de la planta, cuyas variables de salida será representada por superficies o hipersuperficies según sea el tamaño de la base de datos.

La extracción o descubrimiento del conocimiento se refiere a la creación del bloque de inferencia difusa, que no es más que el cerebro en donde se guardan todas las reglas de inferencia del tipo “SI-ENTONCES”, en donde se relacionan las variables de entrada y de salida de la máquina predictiva.

No obstante, con el paso del tiempo se han desarrollado métodos de optimización para los modelos difusos de tipo Takagi-Sugeno que buscan minimizar el error entre la respuesta de la máquina predictiva y el valor real esperado, tales como las redes neuronales artificiales desarrolladas por Jang (Jang, 1991) dando lugar a los Sistemas de Inferencia Difusa Neuro Adaptativas (ANFIS de acuerdo a su acrónimo en inglés).

Al utilizar las máquinas predictivas de tipo ANFIS, se implementa un modelo difuso de tipo Takagi-Sugeno el cual será entrenado por una red neuronal, cuya finalidad de entrenamiento es obtener una convergencia en el tiempo entre la respuesta de la máquina predictiva y el valor real con un error muy pequeño.

2 Marco Teórico

El proceso de potabilización de agua consta de diferentes etapas según las características que posea la fuente de agua que alimente la planta. En este caso en particular se tomará como referencia la planta de tratamiento de agua en El Vigía, Mérida, Venezuela, que consta de las siguientes etapas: coagulación - floculación, sedimentación, filtración, desinfección con cloro y regulación de pH.

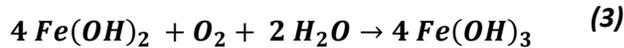
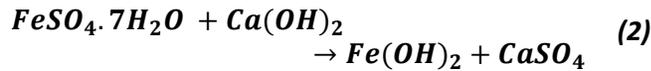
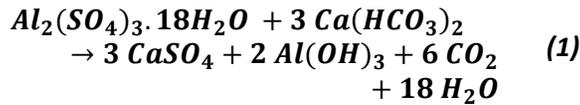
2.1 Coagulación – Floculación.

Es una de las etapas más importantes en el proceso. En ella, se reduce el grado de turbidez del agua, lo que es estéticamente primordial, ya que al consumidor le sería desagradable beber agua con un aspecto sucio.

Esta etapa consiste en adicionar un coagulante que anule las cargas eléctricas superficiales de las partículas, haciendo que ellas se acerquen entre sí, formando “flóculos” más pesados y grandes. En este proceso, técnicamente no se destruyen microorganismos patógenos, pero se reducen entre un 60-90% de los mismos debido a que son encapsulados en los flóculos formados (Cheremisinoff, 2002). Los coagulantes son compuestos de aluminio o hierro que producen hidróxidos insolubles en medios alcalinos, que arrastran impurezas suspendidas

El coagulante de aluminio más utilizado es el sulfato de aluminio (alumbre) cuya fórmula química es $Al_2SO_4 \cdot 18H_2O$. El coagulante de hierro que más se emplea es el sulfato de hierro II. Su fórmula química es $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

En las Ec. (1), (2) y (3) se muestran las reacciones que ocurren cuando son adicionados al agua.



Los coagulantes deben tener, preferiblemente, un catión trivalente ya que las partículas o coloides que comúnmente se encuentran en las aguas sin tratar están cargadas negativamente. El hecho de ser trivalente es debido al aumento en la eficiencia de neutralización de la carga de las partículas suspendidas. La potabilización se lleva a cabo para purificar el agua, por lo tanto no debe ser tóxico. El coagulante agregado debe precipitar a pH neutro, de manera que beneficie el proceso de remoción de los coloides (Toprak, 2006).

2.2 Sedimentación

La finalidad de esta etapa es separar los flóculos suspendidos en un estado más calmado, de manera de que comience la precipitación. En el proceso de potabilización de agua, los flóculos precipitan en régimen laminar, por lo tanto se rigen por la Ec. (4) conocida como la ley de Stokes (Parsons y Jefferson, 2006):

$$v_t = \frac{g * (\rho_f - \rho) * d^2}{18 * \mu}$$

En donde v_t es la velocidad terminal, ρ_f la densidad del floculo, d es el diámetro de la partícula, ρ la densidad del agua y μ la viscosidad del agua.

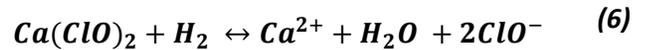
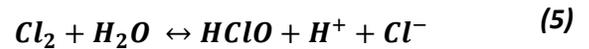
2.3 Filtración.

Las partículas remanentes en el agua clarificada después del proceso de sedimentación se separan mediante filtros de arena.

2.4 Desinfección con cloro.

El agua sin haber pasado por un proceso de desinfección puede contener bacterias, virus, helmintos y protozoos; que son los responsables de varias enfermedades humanas. Es por esto que se proponen etapas de desinfección mediante la adición compuestos con propiedades oxidativas como el cloro. La fuerte propiedad oxidativa del cloro libre el cual se encuentra como cloro molecular Cl_2 , ácido hipocloroso $HOCl$ y como ión hipoclorito OCl^- lo hace un excelente biocida y bactericida capaz de destruir las bacterias, oxidar enzimas y proteínas (B&V Co., 2010), descomponer pla-

guicidas, oxidar especies disueltas como el manganeso (II) formando productos insolubles que pueden eliminarse mediante filtración y puede oxidar especies disueltas como arsenito a arseniato que son más fáciles de eliminar en su estado oxidado (OMS, 2008).



El cloro, al disolverse en el agua, forma ácido hipocloroso $HOCl$ y libera iones hidrógeno H^+ como se ve en la ecuación (5). Los hipocloritos adicionados al agua como sales (de calcio y/o sodio) se disocian formando iones hipocloritos ClO^- (6) que reaccionan con los iones hidrógeno para formar ácido hipocloroso (7). La acción desinfectante del cloro se debe al ácido hipocloroso, el cual se encuentra en mayor proporción cuando el pH del agua se mantiene entre 4 y 7.

La cantidad de cloro necesario para eliminar los microorganismos patógenos se denomina demanda de cloro y se usa el termino cloro residual para designar la cantidad de cloro libre remanente en el agua después del proceso de desinfección (Mayorga, 2009). El cloro residual se agrega como medida de seguridad debido a posibles infecciones posteriores al proceso de desinfección, y el valor máximo permitido es de 1 mg/L (OMS, 2008).

2.5 Regulación de pH.

Consiste en la etapa de dosificación de hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ que en presencia de agua se comporta como una base fuerte. La finalidad de la dosificación del $Ca(OH)_2$ es aumentar el valor del pH hasta ajustarlo a los valores óptimos de la potabilización maneja en un rango entre 6.5-8 (OMS, 2008).

3 Lógica difusa en el proceso de potabilización de agua.

En 1985 Takagi y Sugeno (Takagi y Sugeno, 1985) propusieron un modelo difuso de dosificación de coagulantes y cloro para el proceso de potabilización del agua. Gracias al conocimiento de los operadores de la planta de potabilización, establecieron como parámetros importantes: temperatura, pH y alcalinidad. Tales autores utilizaron datos experimentales obtenidos en Japón entre junio y julio de 1985, para discretizar el modelo difuso. Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de la lógica difusa permitió encontrar una maquina predictiva que logra ajustarse de mejor forma a la realidad que los modelos empíricos o de regresión.

Posteriormente González (2006) determinó los índices de calidad de las aguas superficiales basada en el uso de la lógica difusa. Utilizó dos modelos del tipo Takagi-Sugeno, uno de estos modelos utiliza fórmulas de agregación para el cálculo de los Índices de Calidad del agua. Y el otro modelo desarrollado se basó en variables fisicoquímicas y bacteriológicas del agua como coliformes fecales, coliformes totales, pH, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad y turbidez obteniendo muy buenos resultados (González, 2006).

Otra aplicación es la de Fernández y col. (2010) quienes establecieron un modelo de Redes Neuronales para la estimación de los índices de calidad del agua, específicamente el índice para la materia orgánica (ICOMO), índice para la mineralización (ICOMI) y el índice de contaminación orgánica (OPI). Dicho modelo tuvo muy poca efectividad y un alto gasto computacional. Es por eso que desarrollaron un modelo difuso tipo Mamdani, el cual se validó con un conjunto de datos hallados dentro de los rangos de la legislación colombiana para agua potable y vertidos líquidos, demostrando las grandes potencialidades y ventajas que hacen de lógica difusa una herramienta de base para el desarrollo de nuevos sistemas para la gestión del agua (Fernández y col., 2010).

Recientemente en 2013, Villareal y Caicedo presentaron cuatro modelos para la estimación de la dosificación de coagulante en el proceso de potabilización de agua, los cuales utilizan técnicas que incluyen redes neuronales artificiales, modelos tipo Takagi-Sugeno, Mamdani y modelos ANFIS. En dichos modelos se incluyen la experiencia de los operadores en planta además de los datos experimentales, para establecer las reglas difusas. Los resultados obtenidos demuestran que los modelos tipo ANFIS y de Redes Neuronales pueden ser incluidos en sistemas de control, ya que logran modelar con muy buena aproximación la etapa de dosificación de coagulantes en el proceso de potabilización de agua (Villareal y Caicedo, 2013)

4 Estrategia de dosificación inteligente para el proceso de potabilización de agua.

El presente trabajo de investigación pretende desarrollar e implementar técnicas predictivas de computación basadas en lógica difusa, optimizadas con Redes Neuronales para estimar la dosis de reactivos en las diferentes etapas del proceso de potabilización que se lleva a cabo en la planta de tratamiento de agua en El Vigía, Mérida, Venezuela, y comparar las respuestas con modelos de regresión convencionales.

Conocido el objetivo del trabajo de investigación, es necesario hacer una caracterización del proceso para conocer las variables de entrada, variables de salida y que variables se tomarán en cuenta para el modelo según el conocimiento de los operadores de la planta.

Los modelos planteados serán del tipo Takagi-Sugeno debido a que se cuenta con la data histórica de la planta. Por lo tanto se realizará el descubrimiento del conocimiento a partir de la base de datos y se generaran las reglas difusas a

partir de este conocimiento, mediante la técnica de optimización híbrida, que utiliza mínimos cuadrados y propagación inversa proporcionado por el software MatLab (MatLab®, 2011).

Las variables de entrada con mayor información para el agua cruda en la planta son pH, Turbidez, Color, y Alcalinidad. Las variables de salida corresponden a las etapas de dosificación antes nombradas, como son dosis de Sulfato de Aluminio, dosis de Policloruro de Aluminio (PAC), Dosis de Cloro y Dosis de Cal.

Una estrategia planteada para desarrollar la maquina predictiva, es la división de los datos para los días lluviosos y los días no lluviosos. Con esto podemos agrupar y crear una arquitectura de maquina predictiva diferente para cada uno de los casos. Esta división se realizó tomando como variable de referencia la Turbidez del agua cruda, ya que es una función proporcional al día lluvioso. Para una turbidez menor a 200 UNT será considerado un día no lluvioso y para una turbidez mayor o igual a 200 se considera un día lluvioso.

Esto no cierra la posibilidad de que para un día no lluvioso el agua que ingrese a la planta tenga una turbidez mayor a 200 UNT pero con la nueva arquitectura, la maquina predictiva realizará su función sabiendo que ese día las dosis se asemejaran más a los días lluviosos.

La arquitectura de la maquina predictiva se basa en el reconocimiento de las variables de entrada ya nombradas, para luego realizar las predicciones de las dosis en cada una de las etapas, sin indicarle la condición climática del día.

Para el darle validez a la maquina predictiva se utilizará el valor del coeficiente de correlación de Pearson (R^2) y se realizara una comparación entre modelos lineales y no lineales.

Se mostrará la metodología de generación del modelo para la dosificación de sulfato de aluminio en días no lluviosos, y de forma análoga se desarrollaron los demás.

4.1 Dosis de Sulfato de Aluminio (Día no-lluvioso).

Se tomaron 4 variables de entrada y una sola variable de salida, se establecieron las variables lingüísticas de Bajo (B), Medio (M) y Alto (A) para pH, Color y Alcalinidad, y Bajo (B) y Alto (A) para la Turbidez. Utilizando el método de *grid partitioning*, se realiza una partición del espacio de todas las variables de entrada y de salida del modelo. Luego se aplica el método híbrido que combina mínimos cuadrado con la función de optimización de propagación inversa con redes neuronales (*Backpropagation*) de Matlab, y se desarrolló el modelo difuso ANFIS_SulfNoLluvioso.

En las Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 se presenta la discretización de las variables de entrada. Para este modelo se realizó la transformación de los datos de Turbidez y de Color a una escala logarítmica debido a que esto generaba un comportamiento aleatorio en los residuos del modelo.

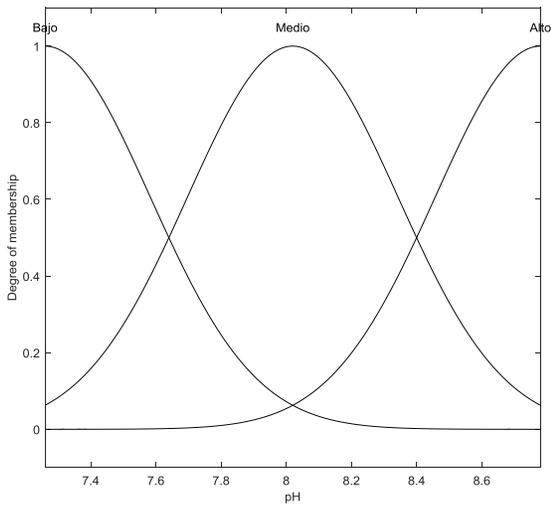


Fig. 1 FM variable pH (Sulfato No-Lluvioso).

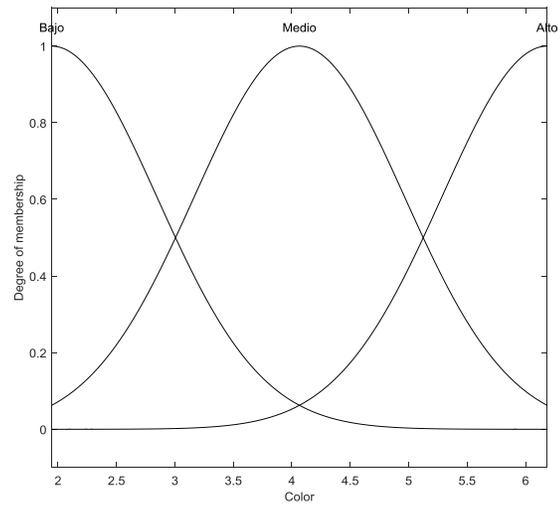


Fig. 3 FM variable Color (Sulfato No-Lluvioso).

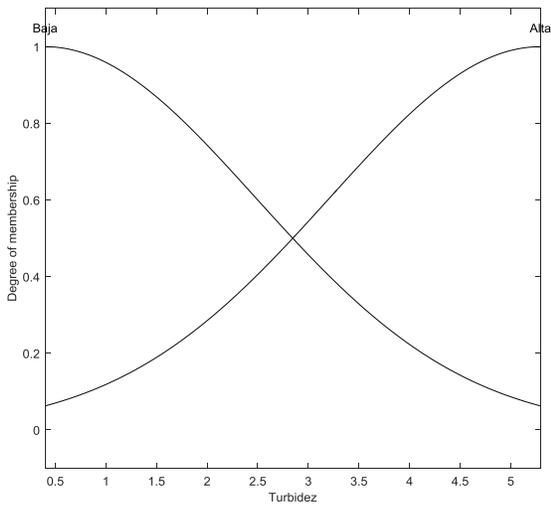


Fig. 2 FM variable Turbidez (Sulfato No-Lluvioso).

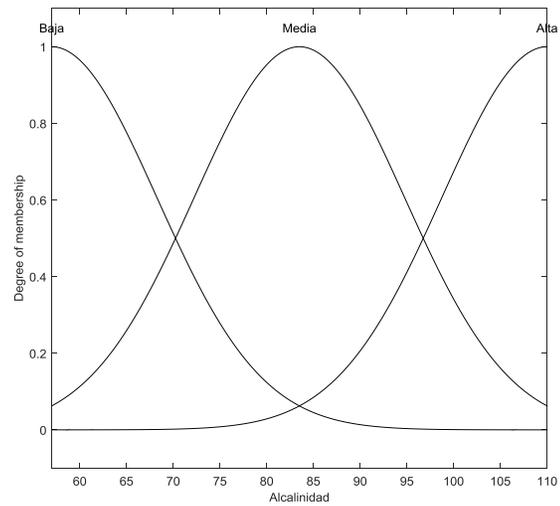


Fig. 4 FM variable Alcalinidad (Sulfato No-Lluvioso).

Una vez aplicado el método *Backpropagation*, se ha realizado el descubrimiento del conocimiento a partir de la base de datos, debido a que se establecieron las funciones de membresía para la variable de salida del modelo.

Cada una de estas funciones de membresía de la variable de salida, se relacionan con las variables de entrada mediante un generador de reglas difusas o mediante la red neuronal que se presenta en la Fig. 5 en donde se interconectan cada una de las variables, que a su vez es el Bloque de Inferencia Difusa (BID) o el cerebro del modelo Takagi-Sugeno.

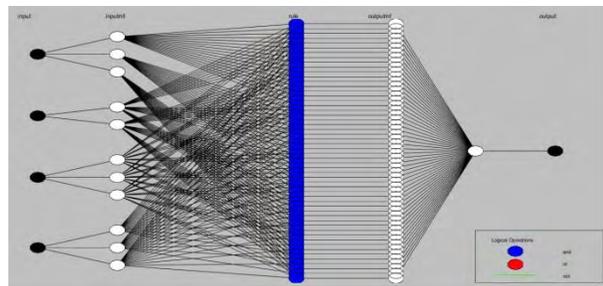


Fig. 5 Red Neuronal del Modelo ANFIS_SulfNoLluvioso.

4.2 Dosis de Sulfato de Aluminio (Día lluvioso).

El modelo de dosificación de sulfato de aluminio en días lluviosos (ANFIS_SulfLluvioso) se realizó de forma análoga, tomando 4 variables de entrada y una sola variable de salida. Se establecieron las variables lingüísticas de Bajo (B), Medio (M) y Alto (A) para pH, Color y Alcalinidad, y Bajo (B) y Alto (A) para la Turbidez.

4.3 Dosis de PAC (Día lluvioso).

El modelo de dosificación de Policloruro de Aluminio (ANFIS_PacLluvioso) se desarrolló para los días lluviosos debido a que este coagulante se utiliza cuando la turbidez supera los 300 UNT, debido al costo comercial que posee. Se eligieron 4 variables de entrada y una sola variable de salida. Se establecieron las variables lingüísticas de Bajo (B), Medio (M) y Alto (A) para pH, Color y Alcalinidad, y Bajo (B) y Alto (A) para la Turbidez.

4.4 Dosis de Cal (Día no-lluvioso).

Para el modelo de dosificación de Cal (ANFIS_CalNoLluvioso) se tomaron 3 variables de entrada y una variable de salida. Se establecieron las variables lingüísticas de Bajo (B) y Alto (A) para el pH y Bajo (B), Medio (M) y Alto (A) para Turbidez y Alcalinidad.

4.5 Dosis de Cal (Día lluvioso).

Para el modelo de dosificación de Cal (ANFIS_CalLluvioso) se tomaron 3 variables de entrada y 1 variable de salida. Se establecieron las variables lingüísticas de Bajo (B) y Alto (A) para el pH y Bajo (B), Medio (M) y Alto (A) para Turbidez y Alcalinidad.

4.6 Dosis de Cloro

Para el desarrollo de un modelo de predicción de cloro, es necesario tener información suficiente acerca de la contaminación por microorganismos patógenos. La medición experimental de esta variable toma 4 días en arrojar un resultado, por lo tanto en las plantas de potabilización se mide el cloro residual presente en el agua ya potabilizada, y se asume que no hay presencia de microorganismos al haber presencia cloro residual.

Además de esto, se descarta el modelo de predicción de dosis de cloro, debido a que la fuente de agua que alimenta a la planta se ha comportado históricamente de forma similar con respecto a la contaminación de microorganismos patógenos, haciendo que las dosis de cloro sean relativamente constantes o con cambios muy pequeños en las dosis.

5 Resultados

Los resultados están basados en la data suministrada por aguas de Mérida, el Vigía, de los años 2005 al 2014. Los modelos difusos de tipo ANFIS obtenidos arrojaron los resultados esperados, debido a que se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson muy buenos y además al graficar

los residuos con respecto a la respuesta real, en la mayoría de los modelos se observa un comportamiento aleatorio en los mismos.

El modelo ANFIS_SulfNoLluvioso arrojó una precisión del 93.54% tal como se observa en la Fig. 6. Además se observó un comportamiento aleatorio en los residuos del modelo en la Fig. 7. Además se desarrolló el modelo lineal mediante un ajuste por mínimos cuadrados y un modelo no-lineal mediante el análisis de residuos (Ingels, 1980), como se ven en las Ec. (8) y (9) arrojando valores de R^2 de 0.426 para el modelo lineal y de 0.477 para el modelo no lineal.

$$\text{Sulf} = 55.61 - 4.64 * \text{pH} + 0.065 * \text{Turb} + 0.017 * \text{Color} + 0.027 * \text{Alcalinidad} \quad (8)$$

$$R^2 = 0.426$$

$$\text{Sulf} = 49.26 - 4.96 * \text{pH} + 1.62 * \log(\text{Turb}) + 0.67 * (\log(\text{Turb}) - 3)^2 + 2.85 * \log(\text{Color}) - \frac{13349}{\text{Alcalinidad}^2} \quad (9)$$

$$R^2 = 0.477$$

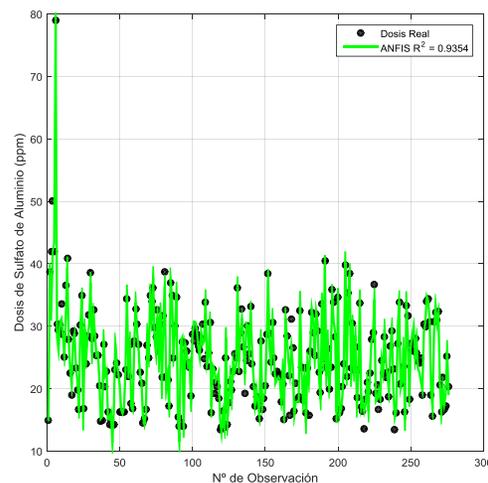


Fig. 6 Respuesta del Modelo ANFIS_SulfNoLluvioso.

Es evidente que al aplicar la regresión lineal y no-lineal no es posible captar toda la variabilidad de los datos. Tanto en las Fig. 8 y Fig. 9 se puede observar que existen altas discrepancias entre la respuesta de los modelos (Ec. (8) y (9)). Esto se traduce en un bajo coeficiente de correlación de Pearson.

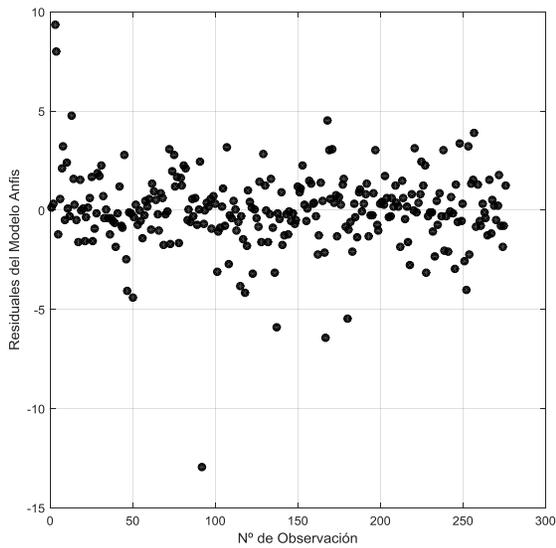


Fig. 7 Residuos del modelo ANFIS_SulfNoLluvioso vs Predicción.

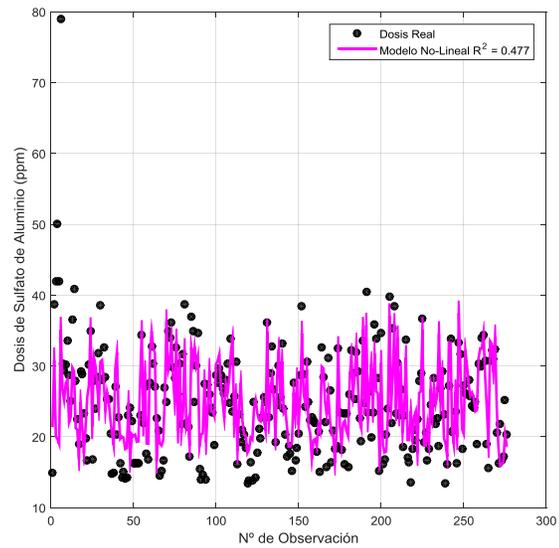


Fig. 9 Respuesta del modelo no lineal Ec(9)

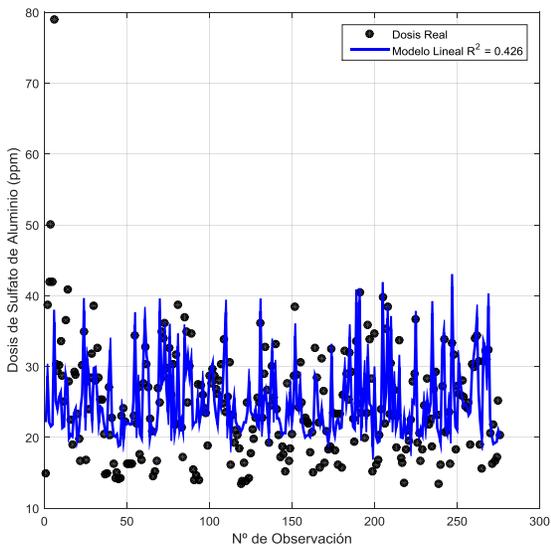


Fig. 8 Respuesta del modelo lineal, Ec(8).

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de cada modelo Takagi-Sugeno desarrollado.

El modelo ANFIS_SulfLluvioso obtuvo un ajuste muy satisfactorio con R^2 de 0.9374, el cual se aprecia en la Fig. 10.

Tabla 1. Resultados de los Modelos Obtenidos

Modelo	Precisión (R^2)	Figura
AN-FIS_SulfNoLluvioso	0.9354	Fig. 6
ANFIS_SulfLluvioso	0.9505	Fig. 10
ANFIS_PacLluvioso	0.9326	Fig. 11
AN-FIS_CalNoLluvioso	0.9167	Fig. 12
ANFIS_CalLluvioso	0.9314	Fig. 13

En la Fig. 11 se representa el modelo AN-FIS_PacLluvioso, el cual logra predecir con un 93.26% de precisión.

En la Fig. 12 se representa el modelo AN-FIS_CalNoLluvioso, el cual logra predecir con un 91.67% de precisión.

En la Fig. 13 se representa el modelo AN-FIS_CalLluvioso, el cual logra predecir con un 93.14% de precisión.

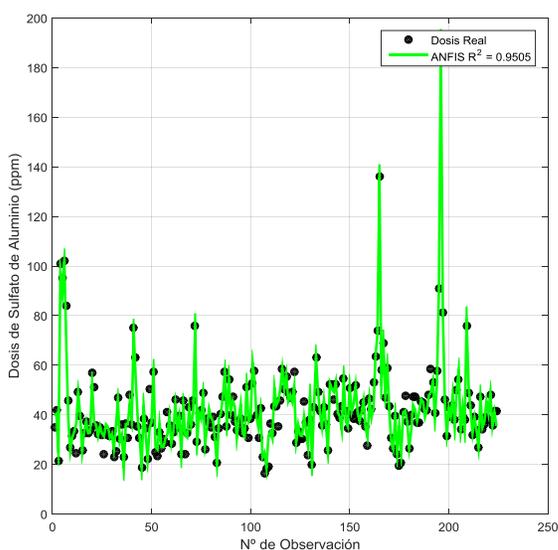


Fig. 10 Respuesta del Modelo ANFIS_SulfLluvioso

determine a qué tipo de día pertenece o se asemeje la muestra del día y realice la predicción en el proceso de potabilización.

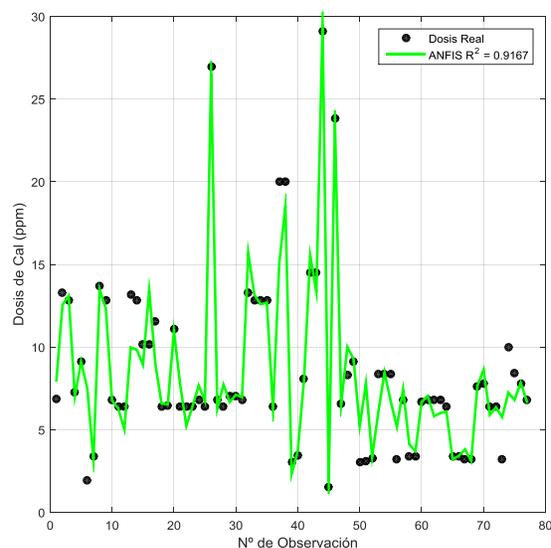


Fig. 12 Respuesta del Modelo ANFIS_CalNoLluvioso.

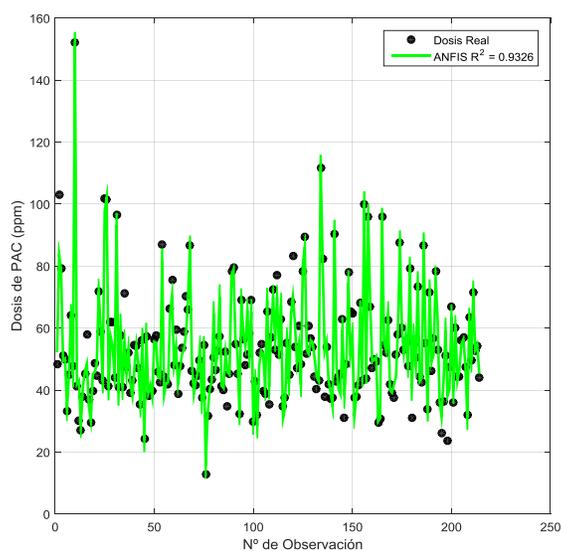


Fig. 11 Respuesta del Modelo ANFIS_PacLluvioso.

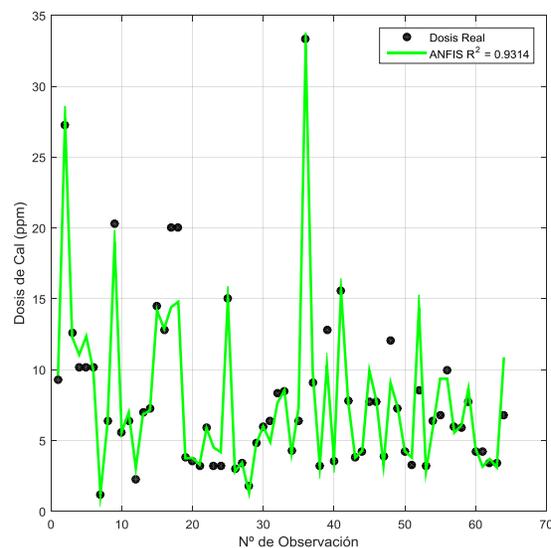


Fig. 13 Respuesta del Modelo ANFIS_CalLluvioso.

Es notable que el uso de las funciones de membresía de tipo gaussiana permita encontrar una predicción bastante acertada de los datos. Esto se debe a que el método de optimización *Backpropagation*, utiliza matrices jacobianas para minimizar el error entre la respuesta del modelo y el valor esperado, y sabiendo que las funciones gaussianas son completamente derivables en el universo de estudio y las convierte en la mejor elección para realizar el modelo.

Con todos los modelos funcionando con muy buena precisión, se crea la maquina predictiva, acoplándolos en un programa maestro que reconozca las variables de entrada y

6 Conclusiones

El análisis de los datos es un paso crucial a la hora de realizar los modelos difusos, debido a que puede caracterizarse de forma adecuada el problema y obtener mejores resultados.

Los modelos convencionales, lineales y no lineales, muestran desempeños bastante bajo comparados con los modelos neurodifusos. En estos modelos neurodifusos se aprecia un ajuste significativo de la data real con R^2 mayores a 0.9. Por lo tanto se puede afirmar que los modelos difusos se justifican cuando los modelos de regresión convencionales no captan la variabilidad de los datos en estudio.

La estrategia de dosificación inteligente se desarrolló en base a modelos predictivos para la estimación de la dosis más precisa en cada una de las etapas del proceso de potabilización, tomando en cuenta la data histórica de la planta, e incluyendo las variables más importantes para cada modelo según los operadores de la planta.

Referencias

- Black & Veatch Corporation (eds.), 2010, White's Handbook of chlorination and alternative disinfectants, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Cheremisnoff NP, 2002, Handbook of water and wastewater treatment technologies. Butterworth-Heinemann, New York
- Fernández N, Carvajal L, Colina E, 2010, Sistema difuso tipo Mamdani para la determinación genérica de la calidad del agua. BISTUA: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona, 8(1)
- González I, 2006, Establecimiento y determinación de índices de calidad del agua. Enfoque basado en lógica difusa. Proyecto de grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, Venezuela
- Jang JSR, 1991, Fuzzy modeling using generalized neural networks and Kalman filter algorithm, Association for the Advancement of Artificial Intelligence AAAI-91 Proceedings, pp. 762 - 767
- Ingels RM, 1980, How to use the computer to analyze test data. Chemical Engineering, Aug. 11, p.p.145-156.
- Mamdani EH, 1974, Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proceedings IEEE, 12(121), pp. 1585 - 1588
- MatLab®, 2011, Help files for MatLab R2011a. Matlab Function Reference: Fuzzy Logic Toolbox: Fuzzy Inference System Modeling. The MathWorks, Inc.
- Mayorga J, 2009, Guía de prácticas del laboratorio de contaminación ambiental. Publicaciones de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Los Andes, Mérida
- OMS, 2008, Primer apéndice a la tercera edición. En Organización Mundial de la Salud, Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1.
- Parsons S, Jefferson B, 2006, Introduction to potable water treatment processes. Blackwell Publishing Ltd, New York
- Hagan M, Demuth H, Hudson Beale, M, 2012, Neural network design. PWS Publishing Company, New York
- Takagi T, Sugeno M, 1985, Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 15(1), pp.116-132.
- Toprak H, 2006, Toprak Home page Wastewater Engineering Design - Construction - Operation, Extraído desde <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/aryen2.html>
- Villareal CA, Caicedo E, 2013, Técnicas de inteligencia computacional aplicadas a modelos de estimación de coagulante en el proceso de potabilización de agua. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (69), pp. 202-215
- Zadeh LA, 1965, Fuzzy sets, Information and Control, 8, pp. 338-353
- Guerrero, Pablo:** Ingeniero Químico. Universidad de Los Andes, ULA, Mérida, Venezuela, 2017. Correo electrónico: guerreropablo20@gmail.com
- Calderón, Silvia:** PhD en Ingeniería Química, Universidad del Sur de Florida, USF, Florida, EEUU, 2006. Correo electrónico: silviamargaritacalderon@gmail.com
- Montoya, Rubén:** MSc en Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, ULA Mérida, Venezuela, 1987. Correo electrónico: rmontoya@ula.ve
- García, Jesús:** Ph.D. en Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte de Barranquilla, UN, Enero 2018. Correo electrónico: jesusmanuel1985@gmail.com
- Mayorga, Omar:** MSc en Ingeniería Química. Universidad de Los Andes, ULA Mérida, Venezuela, 1986. Correo electrónico: jmayorga@ula.ve
- García, Yohn:** Ph.D. en Ingeniería Química, Universidad del Sur de la Florida, USF, Florida, EEUU, 2006. Correo electrónico: yohn@ula.ve