

INTEGRARE

LA REVISTA INFORMATIVA DE TU FACULTAD



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



ÍNDICE

1

IMPACTO DE LA TEORÍA DE GRAFOS EN EL TRATAMIENTO DE COMPLEJIDADES DE LOS DATOS.

4

PATRONES SIMILARES FRECUENTES, UN NUEVO ENFOQUE PARA DESCRIBIR A LOS CONJUNTOS DE DATOS.

8

UN BLOCKCHAIN MULTICAPAS PARA SERVICIOS DIGITALES DE GOBIERNOS.

12

PREDICCIÓN DEL INPP DEL CONCRETO PREMEZCLADO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

16

PROPUESTA DE UNA GRAMÁTICA PARA LA CREACIÓN DE LA ESTRUCTURA MORFOLÓGICA DE CRIATURAS VIRTUALES CONSIDERANDO PREMISAS DE VIDA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

20

ANSWER SET PROGRAMMING COMO UNA ARGUMENTACIÓN FORMAL.

24

SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN DE VOLTAJE DE UN ACELERADOR TANDEM VAN DE GRAFF.

27

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAÍDA EN PERSONAS MAYORES: PROPUESTA DE UNA HERRAMIENTA PORTABLE.

31

PROPUESTA DE REPARACIÓN PARA DAÑOS SÍSMICOS EN UN EDIFICIO ESCOLAR.

35

REPARACIÓN DE ESCUELA CON MUROS DE MAMPOSTERÍA Y MARCOS DE CONCRETO CON DAÑOS SÍSMICOS BASADA EN CONFIABILIDAD.

39

BREVE REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE EL MODELADO Y CONTROL DE CUARIRROTORES.

42

SOBRE LA RELACION DEL CONTROL OPTIMO LINEAL CUADRATICO Y LOS MODOS DESLIZANTES DE PRIMERO Y ALTO ORDEN.



Impacto de la teoría de grafos en el tratamiento de complejidades de los datos

A. Guzmán-Ponce^{1,2}, R. M. Valdovinos¹, J. S. Sánchez², J. R. Marcial-Romero¹ y H. H. Montenegro¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México
aguzmanp643@alumno.uaemex.mx, {rvaldovinosr, jrmarcialr}@uaemex.mx, hmontenegrouaem@gmail.com

² Instituto de Nuevas Tecnologías de la Imagen, Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universitat Jaume I, Castellò de la Plana, España
sanchez@uji.es

Resumen. La teoría de grafos se está utilizando activamente en ciencias como química, ingeniería eléctrica, entre otras. En minería de datos, su utilidad es relevante, por la necesidad de extraer información de los datos representados en estructuras de grafos. Sin embargo, por su naturaleza los datos tienen factores negativos que decrecientan la tasa de efectividad en el proceso de extracción del conocimiento. La teoría de grafos ha sido potencialmente usada para dar solución. Este artículo presenta un estudio empírico, que demuestra que el uso de grafos soluciona de manera efectiva algunas complejidades de los datos.

Abstract. Graph theory has been actively used during years in sciences such as chemistry, electrical engineering, among others. While, in data mining, its usefulness becomes relevant due to the need to extract information from graphs. However, by its nature, the data has negative factors that decrease the performance in the knowledge extraction process. Graph theory has potentially been used to get a solution. This article gives a brief empirical study, which shows that the use of graphs effectively handles some data complexities.

Palabras clave: Teoría de grafos, Minería de Datos, Desbalance de clases, Traslapo de clases y Ruido.

1 Introducción

Los conjuntos de datos generados por sensores, sistemas de almacenamiento, interacción en redes sociales, entre otros, son afectados por factores negativos que disminuyen el rendimiento en modelos de aprendizaje [1], denominados *complejidades de los datos*, como el *Desbalance de clases*, cuando una de ellas tiene un número significativamente mayor de instancias en comparación con el resto de clases, denominada clase mayoritaria, mientras que la menos representada es la clase minoritaria; *Solapamiento de clases*, es cuando existen instancias que se entrecruzan de diferentes clases; *Ruido*, instancias con clase mal asignada desde un principio, y con cierto parecido con otras de diferente clase [2].

Todos estos factores negativos han sido tema de estudio en el área de minería de datos, el más común es el desbalance de clases, no obstante, en algunos casos se encuentra en presencia de ruido u otras complejidades [1]. En consecuencia, se han propuesto diversas soluciones con enfoques de tratamiento previos al modelo de aprendizaje [2]. Para el tratamiento de desbalance de clases, es común que las técnicas modifiquen el conjunto de datos a través de algoritmos que eliminan instancias de la clase mayoritaria (Bajo-muestreo), o que crean o replican instancias de clase minoritaria (Sobre-muestreo), e inclusive en aplicar ambas técnicas (Métodos híbridos). Las técnicas basadas en grafo, son propuestas de bajo-muestreo, algunos de los métodos más usados son: Random under-sampling (RUS), equilibra el conjunto de datos eliminando aleatoriamente instancias de clase mayoritaria. Condensado de Hart (CNN) elimina instancias lejanas a la frontera de decisión. Por otro lado, el resultado de combinar RUS con la construcción de un conjunto de clasificadores se denomina RUSBoost (RBt). Por último, el método CBU genera g centros para representar la clase mayoritaria mediante un algoritmo de agrupamiento [2].

Por otro lado, la teoría de grafos se vuelve popular en áreas de extracción de conocimiento, dado que la solución se puede obtener por ver el problema como un grafo, esto ayuda a dar una respuesta eficiente [3]. En

minería de datos, el objetivo de usar grafos es proporcionar algoritmos generen grafos que coincidan con los patrones encontrados en los conjuntos de datos. Se han desarrollado estrategias basadas en grafos para solventar algunas complejidades de los datos, de esto, surge la necesidad de estudiar el rendimiento que tienen. En este artículo, se presenta un estudio empírico de propuestas basadas en grafos para tratamiento de desbalance de clases, traslape de clases y/o ruido.

2 Teoría de Grafos

Un grafo G es una estructura formada por elementos denominados vértices y por una relación entre ellos denominadas aristas, que sirven para representar problemas. Las aristas son las uniones entre vértices [8]. Un *grafo completo*, implica que cualquier par de vértices está conectado por una arista. Un *grafo inducido*, contiene un subconjunto de vértices y aristas del grafo original. Por otro lado, un *camino* es una secuencia de vértices, mientras que un *ciclo*, es una secuencia de vértices con un vértice inicial y final conectados por una arista. Un *árbol*, es un grafo tal que, para cualquier par de vértices hay un sólo camino que los une, y un *árbol de expansión* contiene todos los vértices del grafo original, sin aristas que formen ciclos. Un *grafo ponderado* G_w es un grafo, donde cada arista tiene asociado un valor denominado *peso*. Una representación computacional de un grafo es una *matriz de adyacencia*, donde cada una de las filas y columnas representa un vértice del grafo, el valor que se almacena es el peso de la arista. Por último, *Árbol Mínimo de Expansión (MST)* de un grafo G_w , es un subgrafo formado por un subconjunto de aristas de G_w , que conecta a todos los vértices sin ciclos, con la condición de tener el mínimo peso total de aristas.

3 Algoritmos basados en grafos

Para el tratamiento de desbalance, se han propuesto algoritmos basados en grafos, que buscan la reducción del número de instancias de clase mayoritaria, sin afectar el rendimiento de modelos de aprendizaje. En general el conjunto de datos es tratado como un grafo completo ponderado. Es decir, todas las instancias pertenecientes a la clase mayoritaria se conectan unas con otras, la ponderación de una arista está dada por la distancia Euclídea que existe entre una instancia y otra. Posteriormente, es posible aplicar la técnica IG-US o MIST-US. La primera construye un subgrafo inducido para mantener todas aquellas instancias que están más alejadas unas de las otras, por medio de la matriz de adyacencia del grafo. Mientras que MIST-US construye un MST, para descartar todas aquellas instancias lo suficientemente cerca de la frontera de decisión [9]. En ambas propuestas, se toma un número representativo de instancias, considerando la proporción deseada entre clase mayoritaria y minoritaria. DBIG-US [2] y DBMIST-US [1] se desarrollan para solventar la presencia de ruido y solapamiento de clases, ambas propuestas filtran instancias consideradas como ruido, por medio del algoritmo DBSCAN [11], el segundo paso es el bajo-muestreo, DBIG-US usa la técnica IG-US, mientras que DBMIST-US usa MIST-US.

4 Análisis experimental

Se evaluó el rendimiento de modelos de aprendizaje: vecino más cercano (1NN), árbol de decisión (J48) y un clasificador lineal (*Support Vector Machine*, SVM), con parámetros predeterminados por WEKA¹. Se usaron conjuntos de datos sintéticos², denominados *subclus*, *clover* y *paw*, cada uno con 800 instancias y un grado de desbalance de 7 (razón del número de instancias de clase mayoritaria con respecto al número de instancias de clase minoritaria); el ruido varía de 0%, 30%, 50%, 60%, y 70%. Las medidas de evaluación se obtienen de la matriz de confusión, que resume el comportamiento del modelo de aprendizaje por medio del número de casos positivos (negativos) que han sido resueltos correctamente, denominados *Verdaderos Positivos* (TP) y *Verdaderos Negativos* (TN) respectivamente. Mientras que los *Falsos Positivos* (FP) / *Falsos Negativos* (FN)

¹ <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

² Tomados de KEEL Data Set Repository, <https://sci2s.ugr.es/keel/imbalanced.php#subA>

son el número de casos negativos/positivos que se han clasificado como positivos/negativos. La métrica usada de rendimiento es la media geométrica (*Gmean*) $G_{mean} = \sqrt{\frac{TP}{TP+FN} \cdot \frac{TN}{TN+FP}}$. Para determinar las diferencias entre más de dos métodos, se aplica la prueba de Friedman, la cual asigna un rango conforme al mejor resultado (valor de 1). Los métodos descritos en la Sección 2 son comparados con las propuestas basadas en grafos para determinar el impacto de los métodos y obtener comparaciones.

5 Resultados

Como se observa en la Figura 1, independientemente del modelo de aprendizaje que se use los métodos basados en grafos obtuvieron los valores más bajo, siendo los mejores.

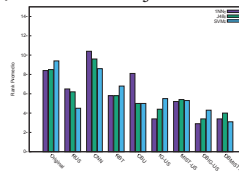


Fig. 1. Las gráficas de barra muestran el rango promedio de Friedman para cada método probado.

En específico, DBIG-US es superior al resto de algoritmos basados en grafos, esto sugiere que el proceso de limpieza previo, ayuda a obtener una mejor representación por medio de la silueta de la clase mayoritaria. En resumen, el impacto que la teoría de grafos tiene en soluciones de problemas de desbalance de clases, así como en presencia de ruido y/o traslape de clases, es favorable, y contundente para enfrentarlas, sin reducir el rendimiento en modelos de aprendizaje, ya que un grafo completo mantiene información de todo el conjunto de datos.

6 Conclusiones

Desafortunadamente la presencia de factores negativos en conjuntos de datos es inevitable, en consecuencia, se requieren de técnicas que las afronten. Actualmente la Teoría de grafos se convierte en una potencial área de uso, ya que los problemas pueden esquematizarse y tratarse como un grafo. Los resultados permiten enfatizar que los métodos basados en grafos obtienen conjuntos de datos reducidos, sin pérdida de información útil con un mejor comportamiento en términos de media geométrica en comparación de otros métodos ampliamente usados. Las líneas abiertas de estudio apuntan al uso de algoritmos basados en grafos para grandes volúmenes de datos.

Referencias

- [1] A. Guzmán-Ponce, R. Valdovinos, J. Sánchez, and J. Marcial-Romero, *A New Under-Sampling Method to Face Class Overlap and Imbalance*, Applied Sciences, 10 (15), 5164 (2020).
- [2] A. Guzmán-Ponce, R. Valdovinos, J. Sánchez, and J. Marcial-Romero, *DBIG-US: A two-stage under-sampling algorithm to face the class imbalance problem*. Expert Systems with Applications, 114301, (2020).
- [3] T. Washio and H. Motoda, *State of the Art of Graph-based Data Mining*, SIGKDD Explor. Newsl., 5(1), 59–68 (2003).
J. Gross and J. Yellen, *Graph Theory and Its Applications*. CRC Press, (2005).
- [4] A. Guzmán-Ponce, J. Marcial-Romero, R. Valdovinos, and J. Sánchez, *Weighted Complete Graphs for Condensing Data*. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 354, 45-60, (2020).
- [5] M. Ester, H. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, *A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise*, In 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Portland, OR: AAAIPress, 226–231, (1996).

Patrones similares frecuentes, un nuevo enfoque para describir a los conjuntos de datos

Gretel Bernal Baró¹, Rosa M. Valdovinos Rosas¹, Ansel Y. Rodríguez Gonzalez²

¹ Universidad Autónoma del Estado de México / Calle Cerro de Coatepec, Paseo Universidad s/n, Universitaria, 50130 Toluca de Lerdo, Méx. / (gbernalb663, rvaldovinosr) @uaemex.mx

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada CICESE-UT3 / Andador 10 entre calles 3 y 4. C.P. 63173.Tepic, Nayarit, México. / ansel@cicese.edu.mx

Resumen. Los patrones frecuentes (PF) juegan un papel esencial en las tareas de minería de datos que encuentran relaciones interesantes entre los datos. La mayoría de los algoritmos utilizados en el minado de PF consideran en el conteo de la frecuencia a los patrones que son estrictamente iguales. Sin embargo, comúnmente funciones de similitud diferentes de la igualdad se utilizan en las ciencias naturales. Actualmente existen algoritmos que encuentran patrones usando funciones de similitud diferentes de la igualdad llamados patrones similares frecuentes (PSF). En este trabajo, nos centramos en el análisis de las ventajas del minado de los PSF con respecto a los PF del enfoque tradicional.

Abstract. Frequent patterns play an essential role in data mining tasks that find interesting relationships between data. Most of the algorithms used in the mining of frequent patterns consider the patterns strictly equal in the frequency count. However, similarity functions other than equality are used in the natural sciences. Currently, some algorithms find patterns using similarity functions other than equality called frequent similar patterns. In this work, we focus on analyzing the advantages of mining these patterns concerning the traditional approach's frequent patterns.

Palabras clave: Patrones frecuentes; similitud; datos mixtos.

1 Introducción

El minado de patrones frecuentes (PF) constituye una etapa fundamental en el proceso de búsqueda de información de muchas tareas de minería de datos. Los PF son conjuntos de valores de atributos o subdescripciones de instancias que aparecen en el conjunto de datos con una frecuencia mayor que un umbral de validación especificado por el usuario. Si el valor de la frecuencia es mayor o igual al umbral de mínima frecuencia establecido, se considera que el patrón es frecuente. La mayoría de los algoritmos existentes en la literatura, utilizados en el minado de PF consideran la igualdad entre los valores de los atributos para contar su frecuencia [1]. Sin embargo, en muchos problemas del mundo real, dos instancias u objetos se pueden considerar similares, aunque no sean idénticas. En estos problemas, el concepto de similitud entre subdescripciones de instancias se utiliza para contar cuántas veces aparece una subdescripción en un conjunto de datos. Cuando se utilizan funciones de similitud diferentes a las de la igualdad, surgen nuevos patrones denominados patrones similares frecuentes (PSFs). Un PSF es una combinación de valores de atributos de la instancia en el conjunto de datos, de manera que el número de veces que aparece ese patrón más la suma de las ocurrencias de las subdescripciones similares no es menor que un umbral de frecuencia especificado por el usuario [2]. Por ejemplo, si asumimos que dos personas son similares en términos de su edad si el valor absoluto de la diferencia entre las edades es máximo de 5 años. Además, si se define que dos personas van a ser similares en términos de su salario si el valor absoluto de la diferencia entre los salarios es máximo de 5000 pesos. Dado el conjunto de datos mostrado en la Tabla 1. Si se establece un umbral de frecuencia mínima igual a 0.7, es decir que una subdescripción es frecuente si aparece al menos en 2 de las instancias. Si se considera la igualdad estricta al contar la frecuencia entre los valores de los atributos, solo Estado Civil = Soltero sería un patrón frecuente. Sin embargo, si se consideran los criterios de semejanza anteriormente mencionados entre los atributos Edad y Salario, alguno de los PSF minados son: (*Edad* = 23), (*Edad* = 25, *Salario* = 7500) etc.

Tabla 1. Conjunto de datos mezclado.

Objeto	Edad	Salario	Estado Civil
O ₁	23	5000	Soltero
O ₂	25	7500	Soltero
O ₃	29	7300	Soltero

Cuando se utilizan funciones de similitud diferentes de la igualdad, se descubren patrones que quedan ocultos para los algoritmos que utilizan la igualdad entre los valores de los atributos como función de semejanza (fS) [1]. En la literatura se pueden encontrar varios algoritmos diseñados para minar PSF. Estos algoritmos son clasificados teniendo en cuenta la imagen de las funciones de semejanza permitidas, en algoritmos que usan funciones de semejanza booleanas (STreeDC-Miner [1], CFSP-Miner [2]) y algoritmos que usan funciones de semejanza no booleanas (STree*DC-Miner, STree*NDCMiner, RP*-Miner [3]). Una fS booleana [1] es aquella cuya imagen está conformada por los valores booleanos 0 ó 1, es decir que las subdescripciones van a ser consideradas similares o no. Una fS no Booleana [3] es aquella cuya imagen está conformada por los valores comprendidos en el intervalo [0,1], es decir que las subdescripciones van a ser similares cuanto más se acerca el valor devuelto por la fS a 1. En el presente trabajo se realiza un estudio entorno a las diferentes propuestas existentes para el minado de PSF y las ventajas del uso de este tipo de patrones con respecto a los PF del enfoque tradicional.

2 Metodología

Primeramente son seleccionados los conjuntos de datos utilizados durante la experimentación. Estos fueron seleccionados del repositorio de la Universidad de California (<https://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>). En la Tabla 2 de cada conjunto de datos utilizado se muestra: la cantidad de objetos, la cantidad de atributos numéricos, no numéricos y el número de clases existentes.

Tabla 2. Conjunto de datos de prueba

Nombre	Objetos	Num	No Num	Clases
1.Car	1728	2	5	4
2. Contraceptive	1473	2	8	3
3.Census	32561	6	9	2

Luego es definida la fS a utilizar y los criterios de comparación para cada atributo de cada conjunto de datos. Durante toda la experimentación la fS booleana y los criterios de comparación fueron definidos como en [1]. Por último, se evaluó el rendimiento de los algoritmos de minado de PSF con respecto a los algoritmos del enfoque tradicional teniendo en cuenta el número de PF minados y la calidad de los patrones. Se considera más eficaz al enfoque que encuentre mayor cantidad de patrones y la calidad del conjunto de patrones fue definida como el porcentaje de objetos clasificados correctamente por un clasificador supervisado simple basado en los patrones minados.

3 Resultados y discusiones

En esta sección, se muestra el desempeño de los algoritmos de minado de PSFs con respecto a los algoritmos de minado de PF del enfoque tradicional, tomando como referencia el algoritmo STreeDC-Miner [1], por ser uno de los algoritmos de minado de PSF de mejor desempeño. Para evaluar a los algoritmos de minado de PF del enfoque tradicional se tomó al propio algoritmo STreeDC-Miner pero utilizando la igualdad entre los valores de los atributos como fS.

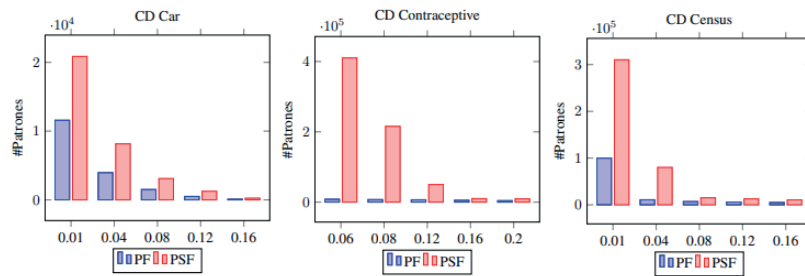


Fig. 1. Patrones frecuentes minados por ambos enfoques en los conjuntos de datos de prueba.

Como puede ser visto en la Figura 1, la cantidad de patrones frecuentes minados, en todos los conjuntos de datos para los diferentes valores de soporte, es mayor cuando son utilizadas FS diferentes de la igualdad con respecto a cuándo se utiliza la igualdad estricta como criterio de semejanza. Cuando se utiliza la igualdad como criterio de semejanza se pierden hasta un 70% de los PSFs, información que pudiera ser de utilidad para el problema de estudio a resolver.

Tabla 3. Calidad de los conjuntos de PSFs y los PFs Enfoque Tradicional

Soporte	CD	PSF	PF	CD	PSF	PF	CD	PSF	PF
0.01	1	80.49	80.44	2	45.69	41.75	2	74.66	73.06
0.04		76.29	75.60		40.20	40.65		76.00	72.39
0.08		69.75	70.28		37.46	37.66		76.00	71.26
0.12		65.50	65.43		36.17	33.76		72.66	70.80
0.16		56.49	55.65		35.64	29.65		73.33	70.93
Promedio		69.70	69.48		39.03	36.69		74.53	71.68

La Tabla 3 representa la calidad de los PSFs y los PFs del enfoque tradicional en los diferentes conjuntos de datos de prueba para los valores de frecuencia testeados. Como se puede apreciar, para la mayoría de los umbrales de mínima frecuencia establecidos, basado en la precisión obtenida por el clasificador, la calidad de los PSFs es mayor o igual a la calidad de los PF minados. Esto evidencia la utilidad de los patrones que se pierden al emplear el enfoque tradicional de minado de patrones frecuentes.

4 Conclusiones

La minería de PSFs está atrayendo fuertemente la atención como una solución alternativa en el desarrollo de estrategias descriptivas. Con los experimentos realizados en este trabajo se pudo validar que cuando se utilizan FS diferentes de la igualdad se obtiene un cúmulo de información superior a cuando se utiliza la igualdad entre los valores de los atributos como FS. Además cuando los PSFs son utilizados en tareas como la clasificación, el clasificador obtiene una mayor precisión que cuando los PF del enfoque tradicional son usados.

Referencias

- [1] A. Y. Rodríguez González, J. F. Martínez-Trinidad, J. A. Carrasco-Ochoa y J. Ruiz Shulcloper, «Mining frequent patterns and association rules using similarities,» *Expert Systems with Applications*, vol. 40, n° 17, pp. 6823--6836, 2013.



- [2] A. Y. Rodríguez González, F. Lezama, C. A. Iglesias-Alvarez, J. F. Martínez Trinidad, J. A. Carrasco Ochoa y E. Muñoz de Cote, «Closed frequent similar pattern mining: Reducing the number of frequent similar patterns without information loss,» *Expert Systems with Applications*, vol. 96, pp. 271-283, 2018.
- [3] A. Y. Rodríguez González, J. F. Martínez Trinidad, J. A. Carrasco Ochoa y J. Ruiz Shulcloper, «Frequent similar pattern mining using non Boolean similarity functions,» *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 36, n° 5, pp. 4931--4944, 2019.

UN BLOCKCHAIN MULTICAPAS PARA SERVICIOS DIGITALES DE GOBIERNOS

Fernando Rebollar¹, Rocío Aldeco², Rosa M. Valdovinos¹ y Marco A. Ramos¹

¹ Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México Cerro de Coatepec S/N Ciudad Universitaria C.P. 50100, Toluca México/ frebollarc@uaemex.mx

² Facultad de ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México / Cto. Escolar 04360, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México / raldeco@unam.mx

Resumen. El crecimiento del uso de servicios digitales en los últimos años ha sido exponencial y nuevas tecnologías como blockchain están surgiendo, sin embargo, estas tecnologías aun necesitan ser mejoradas para que su utilización sea viable y funcional. Se presenta una propuesta enfocada a los servicios digitales de gobiernos, donde la información que se maneja es pública y se permite que cualquier ciudadano pueda verificarla. La propuesta también permite que los mismos ciudadanos participen en hacer más segura la información. La solución separa los diferentes tipos de información en varias capas que se interconectan y aprovechando las ventajas de los blockchain se obtiene una posibilidad de agregar mayor funcionalidad que los servicios digitales actuales, como lo es utilizar smartcontracts y gestionar documentos de manera segura.

Abstract. The growth in the use of digital services in recent years has been exponential and new technologies such as blockchain are emerging, however, these technologies still need to be improved for their use to be viable and functional. A proposal is presented that focuses on digital government services, where the information that is handled is public and any citizen can verify it. The proposal also allows citizens themselves to participate in making the information more secure. The solution separates the different types of information in several layers that are interconnected and taking advantage of the blockchain, it is possible to add more functionality than current digital services, such as using smartcontracts and managing documents safely.

Palabras clave: Blockchain, descentralización y servicios digitales

1 Introducción

La confianza en la información digital y por ende en los servicios digitales ha tomado interés por parte de la población en general [1]. La detonante ha sido el aumento del uso de servicios digitales. La necesidad de mantener la integridad y legitimidad de la información digital ha conllevado al desarrollo de nuevas técnicas y modelos que lo permitan. Intermediarios de la información digital han surgido para validar y dar certeza de la información digital que se maneja [2]. Diversas empresas han aprovechado estos flujos de información convirtiéndolos en modelos económicos con grandes ganancias, muchas de estas, únicamente realizan la labor de ser intermediarios entre el prestador del servicio y el prestatario del mismo.

En el ámbito monetario y económico ha sucedido algo similar con los bancos, quienes son intermediarios entre las transacciones digitales de sus clientes, encargándose de verificar y legitimar las transacciones. Dado el aumento de intermediarios en las transacciones digitales, en 2008 aparece una propuesta de con una alternativa de transacciones monetarias sin intermediarios, que, a su vez, era capaz de validar sus transacciones por sí misma utilizando técnicas y modelos criptográficos. El nombre que se le dio a esa moneda digital es Bitcoin [3].

El funcionamiento de Bitcoin es similar a la de un libro abierto descentralizado, en el cual todos tienen acceso a consultar la información que contiene, dicha información se organiza por medio de bloques, los bloques son generados constantemente y siempre el nuevo bloque está ligado al bloque anterior [4]. La arquitectura es como una cadena de bloques que en inglés se nombró “blockchain”.

No paso mucho tiempo para notar que blockchain podría ser utilizado en más servicios digitales. También pronto se analizaron sus implicaciones, así como también sus ventajas y desventajas. En consecuencia, han

surgido nuevas propuestas basadas en el funcionamiento original de blockchain, pero con diversos cambios, con la finalidad de aumentar las ventajas y mitigar las desventajas propias del blockchain. En general existen 3 atributos que son deseables en las blockchain: escalabilidad en la velocidad de transacciones, descentralización y seguridad [5].

La tecnología blockchain aun requiere de investigación y desarrollo para que en un futuro pueda ser funcional [6]. Mejoras permitiría la eliminación de diversos intermediarios en los servicios digitales [7], la transparencia de la información asegurando su validez e integridad y servicios digitales cada vez más confiables.

Las ventajas de las cadenas de bloques ya han sido reconocidas por los gobiernos de diferentes países, algunos de ellos ya han puesto en marcha proyectos para incorporar las cadenas de bloques en los servicios digitales, sin embargo, también han encontrado dificultades para funcionar de la mejor manera [8]. Es por ello que en esta investigación se aborda esa problemática y se realiza una propuesta como posible solución que propone un modelo multicapa de blockchain, donde cada capa almacena diferentes tipos de información. El modelo propuesto consta de 4 capas, donde cada capa funciona de manera independiente e interconectada con las demás capas.

2 Un modelo multicapas basado en blockchain

Los bloques que componen una cadena de bloques contienen diferentes tipos de información. Ejemplos de esta información son valores hash, tablas de índices, datos cifrados, información de transacciones, contratos inteligentes, entre otros. Hasta donde sabemos, los archivos no se almacenan en blockchain. Esto se debe a que el tamaño de los bloques con documentos se vuelve muy grandes y eso afecta la velocidad de translaciones [9].

Es por ello que la propuesta separa la información generalmente contenida en un bloque, en diferentes. Al analizar el uso de cada pieza de información, es posible decidir qué propiedades tendrán mayor prioridad, cuales conviene descentralizar más y cuáles no. Siguiendo este razonamiento, nuestro modelo separa la información en 4 tipos, por lo tanto, se compone de las siguientes 4 capas: Index-Keys, Transactions, SmartContracts y Files.

La capa 1 está dedicada a almacenar las tablas de índices, las llaves criptograficas y los identificadores de transacciones, smartcontracts y de documentos. Los identificadores también van acompañados con los hashes de las distintas informaciones, para asegurar su integridad. La finalidad de esta capa es ser la capa con mayor distribución, asegurando su disponibilidad y seguridad.

Los bloques de esta capa son los más ligeros y de rápida generación para garantizar que sean de rápido acceso. Al solo almacenar índices es la capa más ligera y por consecuencia la capa más rápida en comparación con las otras 3 capas.

La capa 2 está dedicada a almacenar las transacciones. Almacena la información necesaria correspondiente a todas las transacciones que se realizan. Para mejorar la velocidad de transacciones esta capa es de menor descentralización que la capa 1.

En la capa 3 se almacena toda la información referente a los contratos inteligentes. Para esta capa se utiliza el algoritmo de consenso dPoS, al ser un algoritmo creado para funcionar con los contratos inteligentes, donde los nodos a participar son autorizados previamente y su nivel de participación le permite definir quienes son los nodos encargados de realizar las validaciones evitando conflictos de intereses. Para definir el nivel de participación es necesario relacionarlo al uso que se quiera dar. Los nodos con mayor confiabilidad son aquellos que también son los más perjudicados si la información de la red se ve comprometida.

La capa 4 almacena los archivos que se requieran, se planea retomar el trabajo en [10] que permite almacenar los archivos con alto grado de privacidad y manteniendo una buena velocidad de transferencia. Esta capa no utiliza un algoritmo de consenso debido a que solo es para el almacenamiento de archivos.

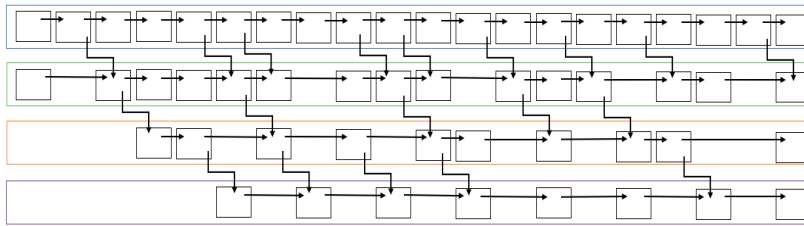


Fig. 1. Generación de los bloques en las diferentes capas (los bloques superiores representan la capa 1, mientras que los bloques inferiores representan los bloques de la capa 4).

Para optimizar el modelo multicapa se requieren diferentes tiempos de generación de los bloques de las distintas capas. En la primera capa se generan los bloques en mayor cantidad en comparación a las otras tres capas, la segunda con menor frecuencia que la primera, la tercera con menor frecuencia a las dos anteriores y la cuarta capa es la de menor frecuencia de todas (ver Fig. 1).

3 Conclusiones

Con el advenimiento de la tecnología blockchain, existe una nueva oportunidad central para generar confianza en plataformas digitales. El que los mismos ciudadanos puedan participar y aportar para que la información que manejan los gobiernos sea más segura y confiable

Los contribuyentes también serían ampliamente beneficiados al poder revisar la forma en que se utilizan sus contribuciones en el gobierno. También para los ciudadanos que quieran podrán participar en la validación de los bloques de la primera capa, contribuyendo a hacer más confiable la información que se maneja en las distintas divisiones gubernamentales.

El blockchain multicapas presenta una propuesta para dividir y organizar los distintos datos para eficientizar y mantener una alta velocidad de transacciones que hagan viable la utilización del blockchain en diversos servicios digitales.

Dado el problema general de los blockchain donde la velocidad de transacciones es su principal carencia, la propuesta de dividir la información en capas parece ser una posible solución viable.

Aprovechando las ventajas generales de los blockchain, mejorando su velocidad de transacciones y aprovechar la funcionalidad de los contratos inteligentes es posible agilizar, transparentar y automatizar diversos servicios que ofrecen los gobiernos.

Referencias

1. Fernando Tricas Lamana. El gobierno electrónico: servicios públicos y participación ciudadana. Laboratorio de Alternativas (2007).
2. Gerald C Kane. The dark side of the digital revolution. MIT Sloan Management Review, 57(3), 1–8 (2016).
3. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, último acceso 2020/11/15 (2008).
4. Melanie Swan. Blockchain: Blueprint for a new economy. O'Reilly Media (2015).
5. Xinle Yang, Xiaohu David Chen, Sha Zhou y Ryan Wang. The moac platform: Advancing performance with layered multi-blockchain architecture for enhanced smart contracting. <https://www.moac.io/uploads/MOACWhitePaper.pdf> último acceso 2020/11/15 (2018).
6. J. Leon Zhao, Shaokun Fan y Jiaqi Yan. Overview of business innovations and research opportunities in blockchain and introduction to the special issue. Springer, 3–7 (2016).
7. Fernando Rebollar, Marco A. Ramos y Rosa M. Valdovinos. La adopción del blockchain por la nueva era digital como un sistema descentralizado para el uso y creación de nuevos servicios digitales. *Komputersapiens*, 1(12), 17–21 (2020).
8. MyungSan Jun. Blockchain government a next form of infrastructure for the twenty-first century. *Journal of Open Innovation: Technology Market and Complexity*, 4(1), 7–16 (2018).



9. Elisa García-Morales. Luces y sombras sobre el impacto del blockchain en la gestión de documentos. *AnuarioThinkEPI*, 12, 345–351 (2018).
10. Mathis Steichen, Beltran Fiz, Robert Norvill, WazenShbair y Radu State. Blockchain-based, decentralized access control for ipfs. In *2018 IEEE International Conference on Internet of Things and IEEE Green Computing and Communications*. IEEE, 1499–1506 (2018).

PREDICCIÓN DEL INPP DEL CONCRETO PREMEZCLADO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Bautista Velasco Blas Emilio¹, Portillo Rodríguez Otniel², Rodríguez Arce Jorge³, Delgado Hernández David Joaquín⁴

Maestría en Ciencias de la Ingeniería. Facultad de Ingeniería.
Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca 50130, México.

¹ bbautistav032@alumno.uaemex.mx ² oportillor@uaemex.mx ³ jrodriguez@uaemex.mx
⁴ david.delgado@fi.uaemex.mx

Resumen. En la industria de la construcción la variación de los costos de los insumos deriva en cambios en los costos finales de los proyectos, lo que incrementa la incertidumbre dentro de la industria. El presente trabajo tiene por objeto utilizar redes neuronales artificiales (RNA) de una capa oculta para predecir los valores futuros de los índices nacionales precio productor del concreto premezclado.

Abstract. In the construction industry, variation in input costs results in final project costs, increasing uncertainty. This work aims to use artificial neural networks (ANN) of one hidden layer to predict the future values of national producer price indices of premixed concrete.

Palabras clave: red neuronal, predicción, construcción.

1 Introducción

Los índices nacionales precio productor (INPP) son indicadores que pueden ser utilizados para conocer la variación de los precios de los materiales en la industria de la construcción. La utilidad de conocer con anticipación tal información se encuentra en que supone una ventaja en la planeación de los costos de proyectos, ya que estos índices son un reflejo de los costos de diversos productos y servicios. Diversas investigaciones se han realizado con dicho propósito. En la Tabla 1 se presentan algunos de los trabajos que son antecedentes al presente estudio. En el presente trabajo, se ocuparon RNA, cuyas características permiten tomar como entradas registros anteriores y dar como salida las predicciones para un año en el futuro.

Tabla 1. Antecedentes.

Autores	Año	Metodología	Objetivo	Errores
Ilbeigi et. Al.[1]	2016	ARIMA, Holt Winters ES	Asfalto	2.0%
Hwang et. Al.[2]	2012	Seres de tiempo automatizadas	Varillas, perfiles y concreto	0.97% - 3.5%
Faghih et. Al.[3]	2018	Corrección de errores vectoriales	Asfalto, acero y concreto	0.29% - 1.29%
Shiha et. Al.[4]	2020	Redes neuronales artificiales	Concreto y acero	4.0% - 11.0%

2 Metodología

Los datos empleados se han extraído de las bases de datos del INEGI [5]. En particular se ocuparon los datos de los índices nacionales precio productor del concreto premezclado. Los datos están organizados en tres conjuntos:

- Entrenamiento: con un total de 252 índices mensuales, calculados con base en doce meses previos, de enero de 1995 a diciembre de 2015.
- Validación: tiene un total de 36 índices mensuales, correspondientes al periodo comprendido entre enero de 2016 a diciembre de 2018.

- Prueba: son los índices mensuales correspondientes al periodo de enero a diciembre de 2019.

Los doce datos previos de cada índice se ingresarán en una red neuronal artificial, la cuál es un método de procesamiento de datos inspirado en la forma en la que el cerebro humano procesa la información [6] y están formadas por neuronas distribuidas en capas. McCulloh y Pitts [7] indican que el sistema nervioso se compone de neuronas que permiten o cierran el paso de la información. En la Fig.1 se representa el funcionamiento de una neurona artificial.

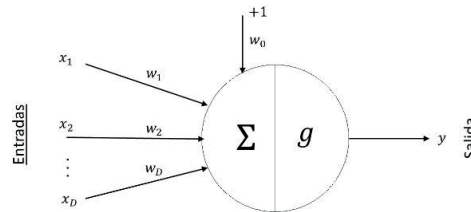


Fig. 1. Modelo de neurona propuesto por McCulloh y Pitts [7]

La información x_i entra a la neurona, es ponderada por un peso w_i y sumada dentro de la neurona junto con un sesgo w_0 (ecuación 1). La neurona se activa a través de la función de transferencia g y la neurona da como respuesta y salida y (ecuación 2) [6]. En el presente artículo la función de transferencia es la función sigmoidea (ecuación 3).

$$a = \sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0 \quad (1)$$

$$y = g(a) = g\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0\right) \quad (2)$$

$$g(a) = \frac{1}{1+e^{-a}} \quad (3)$$

La arquitectura de las redes propuestas consta de 12 neuronas en la capa de entrada, una capa oculta que varía entre 1 y 30 neuronas, y una neurona en la capa de salida. Las redes fueron programadas en el lenguaje R, a través de R Studio [8]. Para conocer la precisión de las redes, se calculó el porcentaje absoluto de error medio (MAPE, por sus siglas en inglés). En cada iteración se seleccionó la red con el menor MAPE en el conjunto de validación, y posteriormente se probó la misma red con el conjunto de prueba.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_i^n \left| \frac{y_i - \bar{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \quad (4)$$

3 Resultados y discusiones

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de las predicciones para el INPP del concreto premezclado para el año 2019. El MAPE de validación y de prueba son en promedio 1.55% y 1.64% respectivamente. La red encontrada con el menor MAPE utilizando el conjunto de prueba fue la correspondiente a la semilla 57970, con un 0.59%. Las predicciones obtenidas con dicha red pueden visualizarse en la Fig. 2.

Corrida	Semilla	Neuronas	MAPE de Validación	MAPE de Prueba	Corrida	Semilla	Neuronas	MAPE de Validación	MAPE de prueba
1	51046	13	1.25	0.91	16	81571	26	1.47	1.12

Tabla	2	75604	20	2.10	0.70	17	33756	25	1.32	0.89	2.
	3	24504	21	1.28	1.52	18	21564	22	1.05	0.71	
	4	71996	17	1.94	1.07	19	7313	27	2.07	4.57	
	5	51619	19	1.46	1.81	20	72007	21	1.46	1.73	
	6	46337	28	1.23	2.24	21	12282	29	1.68	1.11	
	7	87392	18	1.21	0.83	22	68494	29	1.61	1.12	
	8	20520	21	1.07	0.63	23	17525	14	2.19	2.33	
	9	86581	29	1.68	1.07	24	60833	28	1.23	0.93	
	10	57970	14	0.89	0.59	25	50040	28	1.23	2.50	
	11	29601	23	1.84	0.89	26	25869	12	1.86	2.37	
	12	49178	27	2.20	2.65	27	97464	8	1.73	4.15	
	13	79599	20	2.27	3.78	28	88354	10	1.79	2.87	
	14	1357	6	1.21	1.35	29	46012	5	1.28	0.75	
	15	63613	18	1.40	0.82	30	48491	23	1.55	1.29	
						Moda/Mediana/Media	21		1.55	1.64	

Resultados de RNA para predecir los valores del INPP de Concreto Premezclado para el año 2019.

Como puede observarse, a través de las métricas de error obtenidas, las RNA ofrecen buenas predicciones. En el caso presentado, el error encontrado entre los conjuntos de prueba y validación fue muy similar.

4 Conclusiones

En el presente trabajo se han presentado redes neuronales para predecir los valores de un año en el futuro tomando como datos de entrada doce meses previos a dichos valores. Como resultado, se tienen redes con porcentajes de errores absolutos medios comparables a los encontrados en la literatura e incluso menores.

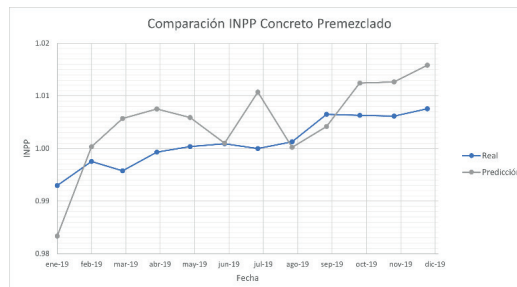


Fig. 2. Comparación del INPP del concreto premezclado con las predicciones obtenidas.

Sin embargo, quedan algunas observaciones que serán la guía para futuros trabajos, tales como:

- Considerar otras funciones además de la sigmoide como función de activación.
- Considerar arquitecturas más complejas, con más capas y mayor número posible de neuronas.
- Predecir otros INPP de otros materiales relevantes, así como de índices macroeconómicos.

Referencias

1. Ilbeigi, M and Ashuri, B and Joukar, A. Time-series analysis for forecasting asphalt-cement price. Journal of Management in Engineering, 33, 1, pp. 04016030 (2016).
2. Hwang, Sungjoo and Park, Moonseo and Lee, Hyun-Soo and Kim, Hyunsoo. Automated timeseries cost forecasting system for construction materials. Journal of Construction Engineering and Management, 138, 11, pp. 1259-1269. (2012).



3. Faghih, Sayed Amir Mohsen and Kashani, Hamed. Forecasting construction material prices using vector error correction model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144, 8, pp. 04018075. (2018).
4. Shiha, Ahmed and Dorra, Elkhayam M and Nassar, Khaled. Neural Networks Model for Prediction of Construction Material Prices in Egypt Using Macroeconomic Indicators. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146, 3, pp. 04020010. (2020).
5. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios>. Ultimo acceso 25/02/2020.
6. Palma Méndez, José T. and Morales, R. Martín. *Inteligencia artificial. Técnicas, métodos y aplicaciones*. Edit. McGraw-Hill, Madrid, España. (2008).
7. McCulloch, Warren S. and Pitts, Walter. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5, 4, pp. 115 - 133. (1943).
8. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. (2019).

PROPUESTA DE UNA GRAMÁTICA PARA LA CREACIÓN DE LA ESTRUCTURA MORFOLÓGICA DE CRIATURAS VIRTUALES CONSIDERANDO PREMISAS DE VIDA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Mercado Rafael^{1 2}, Muñoz Vianney^{1 3}, Ramos Marco^{1 3}

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, 50000, Toluca, México.

² rmercadoh098@alumno.uaemex.mx

³ {vmunozj, maramosc}@uaemex.mx

Resumen. Las criaturas virtuales son entes que existen dentro de simulaciones por computadora; en las simulaciones existe un entorno virtual poblado por criaturas virtuales. Estas simulaciones tienen múltiples propósitos que van del estudio de fenómenos del mundo natural al diseño de mecanismos. Generalmente, la efectividad de estas simulaciones para alcanzar sus objetivos depende del modelo que se usa para generar el cuerpo y cerebro de las criaturas virtuales. En esta investigación buscamos proponer un modelo basado en premisas de la vida natural para generar las criaturas. Se realiza una propuesta de modelado de criaturas virtuales por medio de una metodología de desarrollo incremental para incorporar premisas identificadas en otras disciplinas. Partiendo de la identificación de premisas, se selecciona un subconjunto para su inclusión en el modelado. Posteriormente, este modelado es probado en cuanto a su viabilidad y comparado con otros acercamientos para identificar su capacidad de manera relativa.

Abstract. Virtual creatures are entities that exist within a computer simulation; a simulation comprises a virtual environment populated with virtual creatures. The objective of such a simulation varies greatly, ranging from observational studies of phenomena observed in the natural world to the design of mechanisms. Generally, the effectiveness of these simulations depends on the model used to generate the brain and body of the virtual creatures. This research attempts to propose one such model based on premises from the natural world to generate the creatures. The model proposed by this research will be developed through a methodology of incremental development to incorporate premises identified in multiple disciplines. Initially, premises will be identified during a multidisciplinary review. A subset of these premises will be selected for inclusion into the model. Afterwards, this model will be tested for the viability of its results and then compared to previous research in the field to identify its relative capabilities.

Palabras clave: criaturas virtuales, evolución morfogenética, L-systems.

1 Introducción

El estudio de la vida nos permite comprender múltiples fenómenos que ocurren a nuestro alrededor, describirlos e, incluso, adaptarlos al diseño de mecanismos y estrategias para cumplir con objetivos considerados complejos con acercamientos tradicionales.

Uno de los usos de este conocimiento es a través de la llamada vida artificial, en pocas palabras es la combinación de conceptos de informática y de la vida terrestre para estudiar fenómenos como el metabolismo o la coevolución [5].

A través de la vida artificial se simulan entornos y poblaciones de individuos como abstracciones de los observados en la naturaleza. Para realizar estos estudios se emplean criaturas virtuales, agentes capaces de evolucionar en comportamiento y morfología.

Los avances en el área ocurren en todos los aspectos del proceso, desde la representación de las criaturas y su morfología resultante [7], hasta las estrategias evolutivas empleadas [3]. Un punto clave que se observa en

el estudio de la evolución de criaturas virtuales es una tendencia a generar criaturas con un comportamiento simple (caminata) apegado a una morfología que deja de evolucionar rápidamente.

En esta investigación se busca proponer un modelo basado en premisas de la vida natural que permita generar las criaturas. En este artículo, se presenta una primera propuesta de modelado de criaturas virtuales por medio de una metodología de desarrollo incremental para incorporar premisas identificadas en otras disciplinas. Además, se presenta el progreso concerniente a la primera etapa de la metodología propuesta, donde se seleccionan las premisas multidisciplinarias iniciales para el desarrollo.

2 Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación se conforma de tres etapas. Estas etapas se encuentran conectadas a partir de múltiples tareas de evaluación.

En la Fig. 1 se muestra el diagrama de flujo de la metodología propuesta para definir un modelo basado en premisas multidisciplinarias que genere criaturas virtuales.

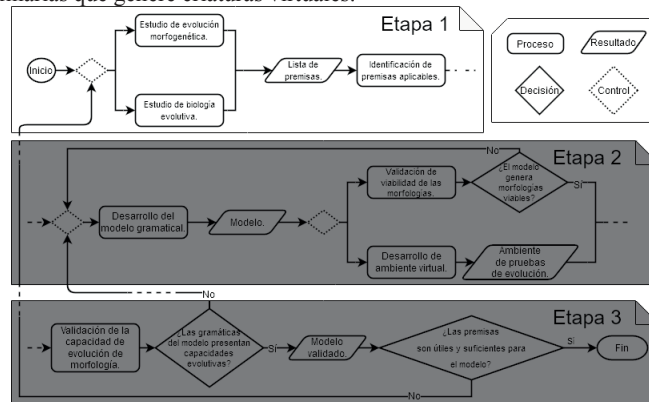


Fig. 1. Diagrama de flujo de la metodología propuesta. El flujo entre etapas es 1→2 y 2→3.

Durante la primera etapa se realiza un estudio multidisciplinario para identificar las premisas y restricciones con posible utilidad en el desarrollo de criaturas virtuales. En la segunda etapa se realizará el desarrollo de la propuesta del modelo gramatical para la generación de morfología de criaturas virtuales. En la etapa final se desarrolla el entorno donde se validará la capacidad de evolución de morfología de las criaturas virtuales. Finalmente, se identifica la utilidad de las premisas seleccionadas para el desarrollo del modelo en comparación con acercamientos anteriores. En este artículo se muestra el progreso realizado durante la primera etapa de la metodología planteada.

3 Resultados y discusiones

Como resultado de una revisión multidisciplinaria realizada durante la etapa 1, se identificó una lista de premisas aplicables al desarrollo encontradas en otras disciplinas relacionadas. Las disciplinas revisadas y su justificación son las siguientes:

- **Genética.** Las criaturas virtuales son generadas a partir de una abstracción de la genética. Sus premisas identificadas [2] pueden ser aplicadas al área.
- **Neurociencia.** Se retoma tanto el funcionamiento como el desarrollo del sistema nervioso para la recepción sensorial y el control motor [9].
- **Cómputo evolutivo.** El desarrollo de criaturas virtuales retoma los conocimientos de esta disciplina, su estado del arte aporta directamente a la misma.

- **Robótica evolutiva.** Esta disciplina emplea criaturas virtuales para el diseño de mecanismos y robots [1], sus hallazgos sirven de retroalimentación.
- **Embriogenia.** Establece reglas y procesos que dicten el rol, la posición y la comunicación de células; los procesos pueden abstraerse a criaturas virtuales.
- **Embriogenia artificial.** La embriogenia es un desarrollo susceptible al entorno y al tiempo; vista de esta forma, puede ser formalizada para su implementación [11].

De las premisas identificadas en estas disciplinas, y para el caso específico del estudio de la evolución y desarrollo morfológico de criaturas virtuales, se seleccionaron las siguientes premisas para un desarrollo inicial:

- **Gramáticas.** Aplicadas a criaturas virtuales, simula el proceso de desarrollo de un embrión. Las células (no terminales) se dividen en eslabones, articulaciones o neuronas (terminales) de acuerdo con las reglas de producción definidas en la gramática empleada. Forma la base del modelo.
- **Evolución encarnada.** Como estrategia evolutiva para el proceso de selección y apareamiento de las criaturas virtuales. Con esta estrategia se le permite a las criaturas aparearse de acuerdo con su proximidad física.
- **Destino celular-Heterocronía-Canalización.** Premisas de embriogenia que ayudan a caracterizar el proceso de desarrollo del embrión con injerencia del entorno. Sus funciones son: determinar el tipo de célula, esparcir en el tiempo el desarrollo de distintas células y guiar el desarrollo tras efectos externos.
- **Química celular.** La simulación de procesos biológicos de bajo nivel que dan lugar a las interacciones entre células. Efectúa las premisas de embriogenia.

Tanto el desarrollo como el análisis de los procesos evolutivos es útil para obtener y analizar resultados, pero es igualmente evidente que se necesita una jerarquización de las premisas a usar para tener una experimentación razonable.

Como se describió anteriormente, el objetivo de esta investigación es proponer un modelado utilizando premisas multidisciplinarias. Este modelado será comparado con aportaciones anteriores [6,10] para identificar su viabilidad relativa utilizando las métricas existentes actualmente [8] como comparación de las morfologías resultantes.

4 Conclusiones

Se espera que el modelo gramatical permitirá evolucionar criaturas virtuales con una morfología adaptable al entorno donde se desenvuelven. Aunado a este resultado, se espera que la evolución morfológica de las criaturas concuerde con las reglas e hipótesis retomadas como premisas para el modelado. Ahora que se cuenta con las premisas aplicables, se realizará la propuesta inicial de modelado y el desarrollo del entorno virtual donde se realizará su verificación y comparación.

Esta investigación recibe apoyo de Becas Nacionales CONACYT al CVU 784441.

Referencias

1. S. Doncieux, N. Bredeche, J.-B. Mouret, and A. E. (G. Eiben, "Evolutionary Robotics: What, Why, and Where to," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 2, 2015.
2. A. J. F. Griffiths, *Introduction to genetic analysis*. New York, New York: W.H. Freeman and Company, 2015.
3. D. Howard, A. E. Eiben, D. F. Kennedy, J.-B. Mouret, P. Valencia, and D. Winkler, "Evolving embodied intelligence from materials to machines," *Nature Machine Intelligence*, vol. 1, no. 1, pp. 12–19, Jan. 2019.
4. T. Ito, M. L. Pilat, R. Suzuki, and T. Arita, "ALife approach for body-behavior predator-prey coevolution: body first or behavior first?," *Artificial Life and Robotics*, vol. 18, no. 1-2, pp. 36–40, 2013.
5. T. Ito, M. Pilat, R. Suzuki, and T. Arita, "Coevolutionary Dynamics Caused by Asymmetries in Predator-Prey and Morphology-Behavior Relationships," *Advances in Artificial Life, ECAL 2013*, 2013.
6. M. Komosinski, "The World of Framsticks: Simulation, Evolution, Interaction," *Virtual Worlds Lecture Notes in Computer Science*, pp. 214–224, Jun. 2000.



7. D. Lessin, D. Fussell, and R. Miikkulainen, "Adopting Morphology to Multiple Tasks in Evolved Virtual Creatures," *Artificial Life 14: Proceedings of the Fourteenth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, 2014.
8. K. Miras and A. E. Eiben, "Effects of environmental conditions on evolved robot morphologies and behavior," *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 2019.
9. D. Purves, *Neuroscience*. New York, New York: Oxford University Press, 2018.
10. K. Sims, "Evolving virtual creatures," *Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '94*, Jul. 1994.
11. K. O. Stanley and R. Miikkulainen, "A Taxonomy for Artificial Embryogeny," *Artificial Life*, vol. 9, no. 2, pp. 93–130, 2003.

Answer Set Programming como una argumentación formal

Rodrigo Vidal-López¹, José Raymundo Marcial-Romero² y José Antonio Hernández-Servín³

¹⁻³ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México / Cerro de Coatepec S/N. Ciudad Universitaria. C.P. 50100. Toluca, Estado de México / ¹rvidall@uaemex.mx, ²jrmarcialr@uaemex.mx, ³xoseahernandez@uaemex.mx

Resumen. Los seres humanos constantemente se involucran o son partícipes en alguna discusión. En estas discusiones, deben ser capaces de defender la postura que tienen al respecto al tema en cuestión. Incluso, poder influir en el sistema de creencias de los demás participantes. Esto es posible a través de la argumentación. Una barrera que puede existir es que los argumentos construidos contengan ambigüedades. Esto trae como consecuencia que los argumentos sean débiles y fácilmente atacados. Por lo tanto, generar argumentos mediante un lenguaje lógico-declarativo (*Answer Set Programming*, ASP), formaliza y permite obtener argumentos válidos en una discusión.

Abstract. The human being constantly gets involved or participates in discussions. In these discussions, they have to be capable of defending the posture they have that matter. Even, they have to be capable of having influence in the beliefs of the other participants. This is possible through the arguments. One of the obstacles we can find is that these arguments are ambiguous. In consequence, these arguments can be easily attacked and meaningless. Therefore, if we create arguments through logical-declarative and assertive language (*Answer Set Programming*, ASP), we can formalize and get an accurate and acceptable argument in a discussion.

Palabras clave: ASP, argumentación, formalización, creencias, lógico-declarativo.

1 Introducción

La comunicación existente entre los seres humanos es algo muy común y natural. Mediante esta, dos o más participantes pueden intercambiar mensajes o simplemente como una forma de expresión [1]. Sin embargo, la comunicación de diversas ocasiones no tiene la efectividad que se desea. La argumentación, es un método que nos permite mejorar la comunicación mediante razonamientos que están en relación con diferentes áreas como la lógica [2]. La lógica acepta la validez de un argumento si la conclusión es una consecuencia de las premisas, es decir, si las premisas son verdaderas entonces la conclusión también lo es [3].

La argumentación ha sido desarrollada por las ciencias computacionales desde mediados de los 90's utilizando la lógica con enfoques existentes para el razonamiento [2] utilizando la negación por fallo¹.

Así mismo, el razonamiento y conocimiento puede ser representado por medio de la programación lógica. Esta programación permite generar modelos los cuales representan las soluciones de un problema, utilizando especificaciones (instancias) de un problema en particular y el establecimiento de restricciones que satisfacen a ese problema [4]. La programación lógica puede ser implementada mediante el paradigma lógico-declarativo conocido como *Answer Set Programming* (ASP) [5], donde a diferencia de un lenguaje de programación estándar, en ASP se plantea la solución del problema y no el problema en sí.

Por otra parte, la argumentación es un elemento fundamental en disputas legales. Para la construcción de un argumento es necesario que este no tenga ambigüedades y debe ser lo suficientemente sólido para que no sea fácilmente refutable [6].

¹ Se considera falso aquello que no exista evidencia clara para demostrar que es verdadero

2 Metodología

Los programas en ASP son programas bien formados los cuales para lograr que tengan argumentos válidos se utiliza el principio lógico de la extensión o derivación por definición [7] y obtener los modelos estables².

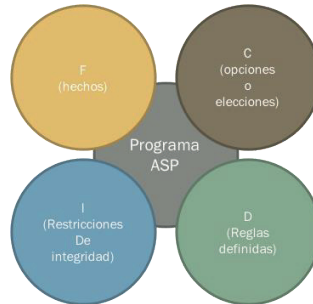


Fig. 1. Un programa en ASP se compone de 4 conjuntos.

En la **Fig. 1** se puede observar que un programa en ASP es una cuadrupla (F, C, D, I) donde F es un conjunto de **hechos**, C es un conjunto de **opciones/elecciones**, D un conjunto de **reglas definidas** y finalmente I un conjunto de **restricciones de integridad**.

Los **hechos** son aquellas proposiciones que se consideran verdaderas. Las **reglas definidas** permiten analizar y/o extender la solución candidata, estas son derivadas de los hechos. Después, las **opciones/elecciones** reflejan las elecciones reales para ser solución del problema. Finalmente, estas opciones son evaluadas por las **restricciones de integridad**, resultando así en los modelos estables que son solución al problema [8].

Planteado lo anterior, la metodología para poder establecer un problema argumentado en lógica, consta de 4 pasos para después poder expresarlo en ASP.

1. Identificar los hechos.
2. Establecer reglas definidas, es decir, estas reglas no cambian, conocidas como “reglas duras”.
3. Conformar reglas consideradas de elección para obtener los modelos candidatos a solución.
4. Evaluar cuales de los modelos candidatos a solución cumplan con las restricciones o reglas de integridad.

Identificando y estableciendo estas 4 reglas, es suficiente para plantear un problema en ASP y así obtener los modelos estables.

3 Resultados y discusiones

En el **Algoritmo 1** se presenta en términos de ASP el problema de un Circuito Hamiltoniano, el cual se describe en el campo matemático de la teoría de grafos como “*un camino cuya sucesión de aristas adyacentes, que visita todos los vértices del grafo una sola vez. Si además el último vértice visitado es adyacente al primero, el camino es un ciclo hamiltoniano*” [9]. Este ejemplo sirve como una demostración de como modelar en ASP un problema que esta perfectamente definido en el lenguaje natural, identificando sus hechos, reglas y restricciones. Esto demuestra como es necesario definir perfectamente en lenguaje natural un problema, cualquiera que sea, para posteriormente poder modelarlo en ASP.

² Conjuntos de respuestas o soluciones al problema

Algoritmo 1. Modelado del problema del Circuito Hamiltoniano expresado en ASP.

Algorithm 1: Circuito Hamiltoniano

```

1: node(1..4). start(1).
2: edge(1,2).
3: edge(2,3). edge(2,4).
4: edge(3,1). edge(3,4).
5: edge(4,1). edge(4,3).
6: { hc(V,U) } :- edge(V, U).
7: reached(V) :- hc(S, V), start(S).
8: reached(V) :- reached(U), hc(U, V).
9: :- node(V), not reached(V).
10: :- hc(V, U), hc(V, W), U != W.
11: :- hc(U, V), hc(W, V), U != W.

```

Recurriendo a la metodología planteada, lo primero que se debe de identificar en el **Algoritmo 1** son los hechos, los cuales podemos observar en las líneas (1-5), ya que en estas líneas se forma el grafo para el cual se quiere encontrar un camino o circuito. Es claro observar, como el grafo construido consta de 4 nodos y empieza en el nodo 1. Además esta conectado como se muestra en la **Fig 2**.

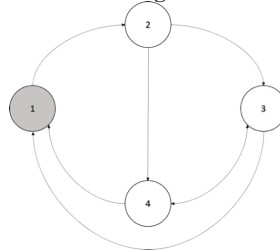


Fig. 2. Grafo instanciado para obtener un camino/circuito Hamiltoniano.

La línea (6) de **Algoritmo 1** es una regla de elección, donde las { } simbolizan que la regla puede ser o no ejecutada, según los modelos candidatos por ASP como un circuito hamiltoniano.

Las reglas que se encuentran en las líneas (7-8) son reglas definidas, en las que dan como resultados los vértices o nodos que pueden ser alcanzados.

Finalmente, en las líneas (9-11) son restricciones que eliminarán los candidatos a ser modelos solución que no cumplan con dichas restricciones, considerando así solo aquellos modelos derivados de los hechos, que cumplan con las restricciones establecidas.

Existen diferentes metodologías para lograr plasmar un problema de manera lógica en ASP. Sin embargo, la metodología propuesta por Fandinno et al. [7], permite de alguna manera trasladar la complicación de expresar argumentos en ASP a un paradigma similar a la programación estructurada.

4 Conclusiones

El tener una metodología que permita conocer que se requiere clasificar el problema en hechos, reglas, decisiones y restricciones ayuda a lograr modelar en ASP el problema. Es importante resaltar que expresar dichas reglas en ASP no es una tarea trivial y si hay que tener un cierto nivel de conocimiento sobre ASP.

El plantear problemas de manera lógica, eliminando ambigüedades trae como consecuencia que se obtengan resultados coherentes que los que se obtendrían al manipular a conveniencia algunos argumentos en una disputa legal.

Referencias

1. Michael, T., Los orígenes de la comunicación humana. Katz Editores, (2013).
2. Toni, F., Sergot, M., Argumentation and answer set programming, in Logic programming, knowledge representation, and nonmonotonic reasoning. Springer, pp. 164–180, (2011).
3. Beall, J., Restall, G., Sagi, G., Logical consequence, (2005).



4. Anger, C., Konczak, K., A glimpse of answer set programming, *KI*, vol. 19, no. 1, p. 12, (2005).
5. Lierler, Y., Handout on answer set programming, (2008).
6. Fainshmidt, S., White III, G., Legal distance, cognitive distance, and conflict resolution in international business intellectual property disputes, *Journal of International Management*, (2014).
7. Fandinno, J., Mishra, S., Romero, J., Schaub, T., Answer set programming made easy preliminary report. (2020)
8. Brewka, G., Diller, M., Heissenberger, G., Linsbichler, T., Woltran, S., Solving advanced argumentation problems with answer set programming, *Theory and Practice of Logic Programming*, vol. 20, no. 3, pp. 391–431, (2020).
9. Thomason, A., Hamiltonian cycles and uniquely edge colourable graphs, in *Annals of Discrete Mathematics*, Elsevier, vol. 3, pp. 259-268, (1978).

SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN DE VOLTAJE DE UN ACELERADOR TANDEM VAN DE GRAFF

Efrén Gutiérrez Ocampo^{1,2}, Belem Saldivar^{2,3,*}, Juan Carlos Ávila Vilchis², Otniel Portillo Rodríguez²

Resumen. En este artículo se presenta la descripción general de un acelerador Tandem Van de Graaff, resaltando el sistema de estabilización de voltaje de la terminal de potencial. El objetivo del artículo es describir la problemática asociada al diseño de un estabilizador para el acelerador instalado en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Abstract. This article presents an overview of a Van de Graaff Tandem accelerator, highlighting the potential terminal voltage stabilization system. This paper aims at describing the problem statement associated to the design of a stabilizer for the accelerator installed at the National Institute for Nuclear Research (ININ).

Palabras clave: Acelerador de partículas, Tandem Van de Graaff, Estabilizador de voltaje.

1 Introducción

Los aceleradores ofrecen la posibilidad de entablar un “diálogo directo” con los átomos que constituyen un material dado, ya que producen cierto tipo de proyectiles con carga positiva (iones) que se utilizan como tales para hacerlos colisionar contra los átomos del material en estudio a velocidades tan altas que es posible inducir una “respuesta característica” (radiación resultante) de estos átomos que funcionan como “blancos” debido a la energía que absorben durante la colisión.

En general, un acelerador Tandem Van de Graaff consta de una fuente de iones tipo SNICS (Source of Negative Ions by Cesium Sputtering) para la obtención de iones de átomos más pesados que el hidrógeno como Li, B, Al, Au, etc. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) cuenta con un acelerador Tandem Van de Graaff de 6 MV en terminal modelo EN. La resolución en energía del imán analizador del acelerador para protones es de aproximadamente 10 keV.

En la sala de experimentos del ININ se tienen disponibles 5 líneas de “bombardeo”, cada una de ellas adaptada para la aplicación específica de alguna técnica analítica. El acelerador Tandem Van de Graaff y el equipo asociado son herramientas únicas en el país para la realización de estudios ambientales (agua, suelo, aire) así como en el campo de la industria agroalimentaria, de materiales y hasta conservación del arte. Lo anterior se realiza por medio de técnicas analíticas IBA (Ion Beam Analysis) como RBS (Rutherford Backscattering), NRA (Nuclear Reaction Analysis), ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis), EFA (Elastic Forward Analysis), PIXE (Particle Induced X-ray Emission), External Beam, PIGE (Particle Induced g-ray Emission) y DIGE (Deuteron Induced g-ray Emission) [1].

El sistema de estabilización de la terminal de potencial (TPS, Terminal Potential Stabilizer) del acelerador es uno de sus sistemas principales, ya que hace posible que el voltaje en la terminal permanezca constante y de este modo se tenga un haz de partículas estable para que pueda ser empleado en los distintos experimentos [2].

¹ Departamento de Soporte Tecnológico a la Industria, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

³ Cátedras CONACYT, Ciudad de México, México.

2 Panorama general de la problemática asociada al diseño de un estabilizador para el acelerador instalado en el ININ

El sistema de control de estabilización de la terminal de potencial del acelerador Tandem Van de Graaff tiene más de treinta años que se instaló en el ININ, por lo que se requiere hacer una actualización, ya que la tecnología con la que se desarrolló, que está basada en circuitos analógicos, es obsoleta y no se consiguen componentes de reemplazo. Por otra parte, con el deterioro de estos no se tiene el grado de estabilización del voltaje en la terminal de potencial que se requiere. En este sentido, se plantea el desarrollo de un nuevo sistema de control para la estabilización de la fuente de alto voltaje. En la actualidad, en otras partes del mundo, los aceleradores de este tipo se han actualizado para continuar brindando servicio en los laboratorios donde están instalados [3], [4]. Finalmente, con el desarrollo de este sistema, en el país se contará con desarrollos propios en el campo de los aceleradores de partículas, los cuales pueden ser implementados en proyectos relacionados con la fabricación de nuevos aceleradores.

Con el diseño e implementación de un nuevo sistema estabilizador basado en un sistema digital embebido, pueden obtenerse grandes beneficios, ya que un sistema de este tipo brinda flexibilidad en la configuración de las operaciones por medio de software y no necesita calibración al no contar con componentes analógicos. Además, al tener una computadora personal que funciona como interfaz de usuario, se tiene un manejo amigable del estabilizador y, aunado al uso de componentes actuales para su implementación, es posible evitar su obsolescencia a corto plazo.

En este sentido, es esencial caracterizar el comportamiento dinámico de la terminal de potencial del acelerador por medio de un modelo matemático que considere los componentes asociados al sistema. Una vez que se tiene un modelo matemático adecuado, se puede implementar una ley de control que garantice la regulación óptima del voltaje en la terminal de potencial. La evaluación del desempeño de la ley de control puede realizarse mediante simulaciones numéricas. Cabe destacar que para el desarrollo del sistema de control de estabilización debe considerarse la utilización de tecnologías modernas de instrumentación virtual usando el software de programación gráfica LabVIEW, además de un sistema embebido compuesto por un dispositivo FPGA, un procesador en tiempo real, así como convertidores analógico-digital y digital-analógico. En este sistema embebido puede ejecutarse la ley de control. El sistema debe contar con tres modos básicos de control que se describen a continuación.

- a) Modo voltmetro generador (GVM). Se utiliza principalmente en el inicio de la operación del acelerador, cuando no se tiene aún la generación del haz de partículas a su salida, pero se desea fijar el voltaje de la terminal de potencial en algún valor asociado con la energía de las partículas que se quieren acelerar.
- b) Modo rejillas de deslizamiento (SLIT). Este modo se pone en funcionamiento cuando se tiene presente el haz de partículas después del imán analizador, el cual al chocar con las dos rejillas de deslizamiento genera una corriente proporcional a la posición del haz. Una vez monitoreada esta posición se puede controlar aumentando o disminuyendo el voltaje de la terminal de potencial por medio del drenado de corriente de la terminal de potencial a través de las puntas de corona.
- c) Modo automático. Este modo realiza una conmutación automática entre el modo GVM y el modo SLIT dependiendo principalmente de la corriente en las rejillas de deslizamiento. Si se tiene una corriente por arriba de un valor previamente establecido en las rejillas de deslizamiento, el sistema permanecerá en modo SLIT, pero si el valor es menor, el sistema conmutará a modo GVM, en el que el usuario puede variar el voltaje de la terminal de forma manual hasta obtener la corriente del haz para conmutar a modo SLIT.

Por otra parte, es importante considerar el desarrollo de una interfaz de usuario con la cual se podrá elegir entre los distintos modos de operación del sistema de estabilización. Esta debe contar con un control para el ajuste manual del voltaje de la terminal de potencial, así como los indicadores de los parámetros del sistema (voltaje de la terminal de potencial, corriente en las rejillas de deslizamiento y la corriente de puntas de corona principalmente). Otro parámetro importante para visualizar es una gráfica en tiempo real de las variaciones de voltaje en la terminal de potencial. Esta interfaz desarrollará utilizando el software de programación gráfica LabVIEW, instalado en una computadora personal (PC) con sistema operativo Windows [5]. En la Fig. 1 se muestra un diagrama de la propuesta del sistema de estabilización para la terminal de potencial.

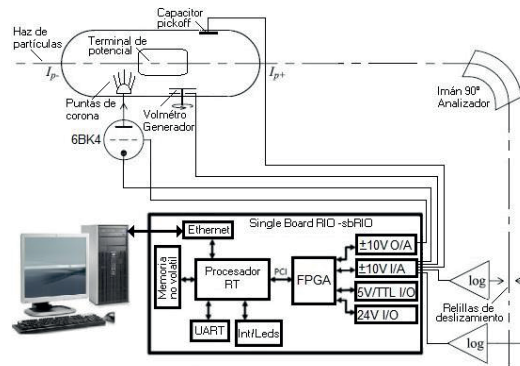


Fig. 1 Sistema estabilizador propuesto.

3 Conclusiones

El diseño de estabilizadores es fundamental para obtener un haz de partículas con la calidad aceptable para el desarrollo de los proyectos de investigación que se realizan empleando aceleradores. En el artículo se abordó la problemática asociada con el diseño y desarrollo de un estabilizador para la terminal de potencial del acelerador Tandem Van de Graaff instalado en el ININ. Con el diseño e implementación de una ley de control que se ejecute en un sistema digital podrían disminuirse significativamente las fluctuaciones del voltaje en la terminal de potencial del acelerador, lo que resultaría en una mejora en la calidad del haz de partículas generado. Además, la utilización de herramientas digitales modernas puede retrasar la obsolescencia del sistema.

4 Referencias

- [1] Juan Andrés Aspiazu Fabián, "Aceleradores en la investigación y la industria". Revista Contacto Nuclear, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, pp 12-15, 2010.
- [2] Nikolai R. Lobanov, "Terminal Voltage Stabilization of Pelletron Tandem". Proceedings of HIAT, Chicago, IL USA, pp 125-128, 2012.
- [3] José G. Lopes, "COMPUTER CONTROL OF A 3 MV VAN DE GRAAFF ACCELERATOR". *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. XVII, No. 3, pp. 415-426, 2010.
- [4] D.V. Mosu, "Development of a GVM-based ion beam energy stabilization system at the Bucharest Van de Graaff FN tandem accelerator". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 707*, pp 40-44, 2013.
- [5] José Lopes, Francisco André Corrêa Alegria, "Automation of a Particle Accelerator Operation Using LabVIEW". Proceedings of the World Congress on Engineering Vol I WCE 2008, July 2 - 4, 2008.

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAÍDA EN PERSONAS MAYORES: PROPUESTA DE UNA HERRAMIENTA PORTABLE

Estévez-Pedraza Ángel Gabriel¹; Martínez-Méndez Rigoberto¹; Portillo-Rodríguez Otniel¹; Parra-Rodríguez Lorena² & Ronzón-Hernández Zoraida³

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México / Cerro de Coatepec S/N, Toluca, México. / ingangelestevez04@gmail.com, rigo@ieec.org & oportillor@uaemex.mx

²Departamento de Gerontotecnología, Instituto Nacional de Geriátrica / Av. Contreras 428 San Jerónimo Lídice, La Magdalena Contreras, México / parra.lrn@gmail.com

³Centro de Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma del Estado de México / Cerro de Coatepec S/N, Toluca, México / zoraronron@hotmail.com

Resumen. Se estima que aproximadamente entre el 30% y 40% de los adultos mayores en el mundo sufre de al menos una caída al año, siendo estos accidentes el 30% de las causas de muerte entre este sector poblacional. La evaluación del riesgo de caída en las personas mayores toma gran relevancia debido a que actualmente se han identificado más de 400 causas de estos accidentes y las proyecciones sociodemográficas a mediano plazo (Organización mundial de la Salud "OMS" e Instituto Nacional para los Adultos Mayores "INAPAM") aseguran la inminente inversión de la pirámide poblacional. En este artículo se presenta un resumen de los conceptos básicos del equilibrio humano, los cambios con la edad, las formas de caracterizarlo y como a partir de esa información se puede estimar el riesgo de caídas (uso de herramientas clínicas y tecnológicas). En general, la subjetividad, el tiempo de evaluación, discrepancia entre resultados reportados, portabilidad, precio y manejo de datos son barreras comunes que limitan el alcance de una evaluación certera y confiable de riesgo de caídas en personas mayores.

Abstract. It is estimated that approximately 30% to 40% of the world's older people fall at least once per year, with these accidents accounting for 30% of the causes of death among this population sector. The assessment of the fall risk in the elderly takes great relevance because currently more than 400 causes of these accidents have been identified and the medium-term socio-demographic projections (World Health Organization "WHO" and National Institute for the Elderly "INAPAM") assure the imminent inversion of the population pyramid. This article presents a summary of the basic concepts of human equilibrium, the changes with age, the ways to characterize it and how from that information the risk of falls can be estimated (use of clinical and technological tools). In general, subjectivity, assessment time, discrepancy between reported results, portability, price, and data management are common barriers that limit the scope of an accurate and reliable assessment of fall risk in older people.

Palabras clave: Riesgo de Caídas, Dispositivo portable, Equilibrio humano.

1 Introducción

La medición del equilibrio humano es de gran ayuda para diagnóstico, seguimiento y rehabilitación, no solo de la capacidad motriz sino de diversas patologías que lo afectan debido a que depende directamente de los sistemas visual, somatosensorial, vestibular musculoesquelético y nervioso central [1]. La manera más común de medir el equilibrio es mediante el centro de presión (CoP, por sus siglas en inglés), que es el punto donde se concentran todas las fuerzas de reacción del suelo cuando un individuo se encuentra en posición de pie [2]. Al graficar la trayectoria del CoP en los planos anatómicos anteroposterior (AP) y mediolateral (ML), se genera un trazo llamado estatocinesiógrafa [3], del cual se derivan algunas métricas útiles para evaluar el equilibrio [4]. Se ha reportado que dichas métricas tienen mayor magnitud en personas de más de 60 años comparadas con personas de entre 20 y 40 años. Este incremento de los valores de las métricas se atribuye al decremento en la capacidad de equilibrio y los cambios fisiológicos [5].

Los dispositivos utilizados para obtener los estatocinesiógramas e índices (métricas) son las plataformas de fuerza [6] y los estabilómetros. Con el análisis de estos índices es posible predecir caídas [7], sin embargo, una

de las limitaciones principales en el uso de estos dispositivos es el costo (hasta \$400,000.00 MNX) y poca portabilidad (demasiado voluminosos y requieren periféricos externos). Por estas razones, el uso de estos equipos está limitado a laboratorios y clínicas especializadas en análisis de marcha. Por otro lado, también existen herramientas clínicas basadas en el desarrollo de actividades que ponen a prueba el equilibrio para estimar el riesgo de caída, las cuales son aplicadas por profesionales del área [8], y que aunque no utilizan recursos tecnológicos para aplicarlas, presentan inconvenientes como subjetividad, tendencia al redondeo de puntajes, el tiempo de ejecución prolongado y opiniones contradictorias sobre sus resultados [9].

Debido a lo anterior se ha diseñado un dispositivo alternativo para la medición del equilibrio basado en la trayectoria del CoP, que es portable, económico y que puede proporcionar un valor cuantitativo del riesgo de caída de forma simple y rápida.

2 Metodología

El dispositivo propuesto está basado en la plataforma *Wii Balance Board* (WBB, Nintendo Inc., Japón), la cual ha sido validada como una herramienta confiable para la medición del CoP [10]. En este caso, dicha plataforma se modificó incluyendo un nuevo microcontrolador para lograr una frecuencia de muestreo estable y realizar los cálculos en el mismo sistema sin requerir de periféricos. Con el dispositivo construido se evaluó el equilibrio de 414 personas mayores (70.23 ± 6.68 años, 299 mujeres), a quienes se les tomó un registro de 2 minutos de sus balanceos posturales (1 minuto con ojos abiertos y 1 minuto con ojos cerrados), con los pies juntos y erguidos, tanto como les fuera posible. Estas pruebas tuvieron lugar en el Instituto Nacional de Geriátrica, en el Laboratorio de Investigación y Evaluación Funcional del Adulto Mayor (LIEFAM), desarrolladas por personal especializado en geriatría. Con esa información recabada se calcularon 38 métricas del CoP y al mismo tiempo, como referente comparativo, se les aplicó a los participantes la prueba *Stopping Elderly Accidents, Deaths and Injuries* (STEADI), de la agencia *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC). La información fue analizada con el software SPSS 17® (IBM, EUA) por medio de regresión logística y *Receiver Operating Characteristic* (ROC) para obtener un modelo que describa el riesgo de caídas.

3 Resultados y discusiones

En la Fig. 1 se muestra el dispositivo propuesto. Los análisis realizados demostraron que los índices procesados por el dispositivo son similares en 19 de 38 métricas a un estudio realizado [4] usando una población similar pero con una plataforma de fuerza [11]. Para el estudio del riesgo de caídas se empleó el índice de velocidad en dirección AP con ojos abiertos (MVELOAPOA) [12]. El punto de corte donde este índice demostró tener la mayor sensibilidad y especificidad fue de 16.474 mm/s, con 75% y 43% respectivamente. Los resultados del análisis de regresión logística, ajustado por las variables de sexo, edad e índice de masa corporal (IMC) se muestra en la

Tabla 1.

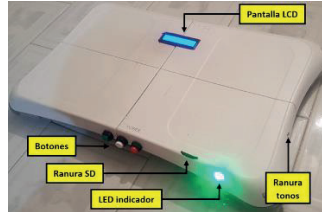


Fig. 1. Vista frontal del sistema propuesto.

Tabla 1. Modelo de estimación de riesgo de caídas.

Variable	Exp(B)	p	CI 95%	
MVELOAPOA	3.905	0.007	1.447	10.537
Edad	1.082	0.004	1.025	1.142
Sexo	2.085	0.027	1.089	3.990
IMC	1.094	0.029	1.010	1.185
			Bondad de ajuste:	0.181
			Área bajo la curva:	0.737

El modelo indica que, si a una persona se le diagnostica riesgo de caída con el dispositivo construido, entonces será casi 4 veces más probable que también tenga el mismo diagnóstico si fuese evaluado con STEADI. Por otro lado, si una mujer rebasa el punto de corte del MVELOAPOA en la evaluación, es de edad avanzada y

tiene obesidad, entonces sus probabilidades de sufrir una caída son aún mayores. A partir del diagnóstico del sistema propuesto sería posible iniciar algún programa de prevención de caídas. El aporte principal de este trabajo radica en que, con una evaluación del equilibrio de 2 minutos, se pueden tener resultados comparables con una prueba clínica que dura más de 30 min y que requiere de especialistas y equipo sofisticado.

4 Conclusiones

Con el dispositivo propuesto se podrían reducir los problemas actuales de alto costo, portabilidad y subjetividad. Para terminar de validarlo, es necesario realizar más pruebas y estudios longitudinales para evaluar la precisión, estabilidad y repetibilidad del instrumento. Actualmente se siguen estudiando y desarrollando nuevas propuestas de cálculo para el riesgo de caída, buscando mejorar el rendimiento hasta ahora mostrado. Los profesionales de la salud que han utilizado el dispositivo aportan opiniones favorables, comentando en general que es una herramienta muy intuitiva, y que además estarían dispuestos a adquirirla si en el futuro se comercializa. Cabe mencionar que el costo de construcción del sistema a nivel de prototipo representa entre el 10% y 15% del costo de un sistema comercial.

Se puede concluir que esta primera propuesta de un sistema para estimar el riesgo de caídas es adecuada, con la cual se podría continuar realizando investigación tal y como está diseñada y construida actualmente, pero se busca mejorarla para que en el futuro pueda formar parte de las herramientas portátiles que emplean los profesionales en geriatría, ya sea en el domicilio del paciente o bien en consultorios pequeños, y con ello se puedan mejorar el alcance de las evaluaciones de riesgo de caída.

Referencias

- [1] F. B. Horak, "Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?", *Age Ageing*, vol. 35 Suppl 2, pp. ii7–ii11, sep. 2006, doi: 10.1093/ageing/af1077.
- [2] D. Winter, "Human balance and posture control during standing and walking", *Gait & Posture*, vol. 3, núm. 4, pp. 193–214, dic. 1995, doi: 10.1016/0966-6362(96)82849-9.
- [3] J. Perry, "Gait Analysis: Normal and Pathological Function", *J Sports Sci Med*, vol. 9, núm. 2, p. 353, jun. 2010.
- [4] T. E. Prieto, J. B. Myklebust, R. G. Hoffmann, E. G. Lovett, y B. M. Myklebust, "Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 43, núm. 9, pp. 956–966, sep. 1996, doi: 10.1109/10.532130.
- [5] D. Abrahamová y F. Hlavacka, "Age-related changes of human balance during quiet stance", *Physiol Res*, vol. 57, núm. 6, pp. 957–964, 2008.
- [6] M. Duarte y S. M. S. F. Freitas, "Revision of posturography based on force plate for balance evaluation", *Rev Bras Fisioter*, vol. 14, núm. 3, pp. 183–192, jun. 2010.
- [7] S. Pajala, P. Era, M. Koskenvuo, J. Kaprio, T. Törmäkangas, y T. Rantanen, "Force platform balance measures as predictors of indoor and outdoor falls in community-dwelling women aged 63-76 years", *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 63, núm. 2, pp. 171–178, feb. 2008.
- [8] S. Mathias, U. S. Nayak, y B. Isaacs, "Balance in elderly patients: the 'get-up and go' test", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 67, núm. 6, pp. 387–389, jun. 1986.
- [9] B. Pettersson, E. Nordin, A. Ramnemark, y L. Lundin-Olsson, "Neither Timed Up and Go test nor Short Physical Performance Battery predict future falls among independent adults aged ≥ 75 years living in the community", *J Frailty Sarcopenia Falls*, vol. 5, núm. 2, pp. 24–30, jun. 2020, doi: 10.22540/JFSF-05-024.
- [10] R. A. Clark, A. L. Bryant, Y. Pua, P. McCrory, K. Bennell, y M. Hunt, "Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance", *Gait Posture*, vol. 31, núm. 3, pp. 307–310, mar. 2010, doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.11.012.
- [11] Á. G. Estévez-Pedraza, R. Martínez-Méndez, O. Portillo-Rodríguez, y L. Parra-Rodríguez, "Portable Device for the Measurement and Assessment of the Human Equilibrium", *Ann Biomed Eng*, oct. 2020, doi: 10.1007/s10439-020-02630-w.
- [12] F. Quijoux *et al.*, "Center of pressure characteristics from quiet standing measures to predict the risk of falling in older adults: a protocol for a systematic review and meta-analysis", *Systematic Reviews*, vol. 8, núm. 1, p. 232, sep. 2019, doi: 10.1186/s13643-019-1147-9.

PROPUESTA DE REPARACIÓN PARA DAÑOS SÍSMICOS EN UN EDIFICIO ESCOLAR

Guadarrama Alejandra¹; De León Escobedo David²

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, 50130, Estado de México, México,
a_donaji_g@hotmail.com, daviddeleonescobedo@yahoo.com.mx

Resumen. - La determinación cuantitativa de las técnicas para reparar daños sísmicos en estructuras escolares, aún no ha sido normada en nuestro país, el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED), Gobiernos estatales e Instituciones Académicas están trabajando en diversos esfuerzos para esto. En este trabajo se utiliza un procedimiento basado en una formulación de riesgo y resiliencia, donde se consideró el riesgo sísmico siguiendo el Manual de Diseño [5], que recomienda calcular la intensidad sísmica de la roca a través de los espectros de peligro uniforme y la resiliencia con base en la mejora de las probabilidades de falla de los elementos estructurales, probabilidad de falla del marco crítico y el costo mínimo esperado del ciclo de vida. Como caso de estudio se presenta un edificio escolar que sufrió de agrietamientos en columnas durante el sismo del 19 de septiembre del 2017, ubicado en el Municipio de Juchitán de Juárez, Oaxaca.

Abstract. - Quantitative determination of the techniques for repairing seismic damage in school structures, has not yet been regulated in our country, National Institute of Educational Physical Infrastructure (INIFED), State governments and Academic Institutions are working in diverse efforts for this. In this work a procedure based on risk and resilience formulation is used, the seismic risk was considered following the Design Manual [5], which recommends computing seismic intensity of the rock through uniform hazard spectra and resilience was integrated by the improvement of failure probability of structural elements, failure probability of the critical frame and minimum expected life cycle cost. As study case, a school building that suffered from cracking in columns during the earthquake of September 19, 2017, located in the Municipality of Juchitán de Juárez, Oaxaca, is presented.

Palabras clave: Peligro sísmico; Confiabilidad; Resiliencia; Costo esperado del ciclo de vida.

1 Introducción

La actividad sísmica en México se debe principalmente a la subducción de las placas Rivera y Cocos bajo la placa de Norteamérica; debido a ello el país ha sufrido sismos de gran magnitud a lo largo de su historia que han ocasionado daños importantes. Los epicentros de la gran mayoría de los sismos se localizan a lo largo de la costa del Pacífico en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, sin embargo, también han ocurrido sismos importantes en el centro y sur de Veracruz, Puebla, Estado de México y la península de Baja California.

El peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de un sismo en una zona determinada durante un tiempo específico, cuyos efectos pueden ser representados por una medida de intensidad sísmica, tal como la aceleración máxima del terreno, velocidad máxima del terreno o la aceleración espectral asociada a una razón de amortiguamiento del 5% [3], es decir, es una medida del grado de exposición que un sitio dado tiene a los movimientos sísmicos referente a las máximas intensidades que en él pueden presentarse [2]. Este peligro sísmico puede expresarse en términos del espectro de respuesta. Los eventos identificados que están asociados con altas frecuencias pueden ser empleados como escenarios para evaluar estructuras ingenieriles e infraestructura nueva y existente. Las características de los escenarios también pueden ser considerados para seleccionar registros del movimiento del terreno que se necesitan para analizar estructuras y verificar el diseño sísmico.

La planeación, el diseño y la construcción de edificios escolares en zonas de riesgo ofrecen múltiples desafíos a los diferentes profesionales involucrados, debido a la importancia que tienen dichas construcciones en la vida usual de una comunidad y a la que adquieren en caso de desastre. A pesar de lo anterior, múltiples edificios escolares han sufrido graves daños, llegando incluso al colapso parcial o total de la estructura, como

consecuencia de sismos intensos. En este contexto, se ha visto la necesidad de revisar las normas existentes para el diseño y la construcción de nuevos edificios escolares. Respecto a la reparación de las estructuras dañadas en México, el INIFED ha dedicado algunos trabajos a proveer información práctica en este aspecto, sin embargo, las estrategias no incluyen aún el enfoque basado en la confiabilidad para identificar la seguridad óptima de las reparaciones desde el punto de vista del costo mínimo esperado del ciclo de vida.

2 Metodología

La metodología utilizada para este trabajo requiere que se conozcan las características de los materiales y geométricas del edificio escolar, así como su ubicación para determinar el espectro de diseño, con esta información se realiza el análisis estructural y se obtienen los elementos mecánicos. El siguiente paso consiste en calcular los márgenes de seguridad de los elementos estructurales del edificio, con base en esa información, se calculan las probabilidades de falla de los elementos estructurales. Se analiza nuevamente la estructura considerando la reparación a los elementos con mayor probabilidad de falla y se calculan los nuevos márgenes de seguridad, índices de confiabilidad y probabilidades de falla y finalmente se evalúa la función del costo esperado en el ciclo de vida para la reparación propuesta.

La probabilidad de falla del edificio se considera como la falla del marco crítico, y la probabilidad de falla del marco se define aquí como la probabilidad de que un efecto de carga, o efecto de combinación de carga, exceda la resistencia de varios miembros estructurales críticos; es decir, que el estado límite de trama G_f (margen de seguridad) se supera de alguna manera. Donde G_f representa el evento para el cual el esfuerzo de actuación excede los esfuerzos de resistencia en una combinación de miembros estructurales que causa la inestabilidad global del marco.

Para realizar el cálculo del valor actual del costo del ciclo de vida previsto se utilizará el método aplicado en [1], donde el ciclo de vida $E(LC)$ se compone del costo inicial C_i y el valor presente del costo futuro esperado debido a potenciales reparaciones/reconstrucciones de la escuela, una vez que ocurran los sismos esperados en el ciclo de vida de la estructura.

El costo de reparación se estimó a través de un análisis de costo unitario clásico. El costo de las consecuencias del colapso se calcula de la siguiente manera:

$$CD = C_c + C_e + C_{in} + C_f \quad (1)$$

Dónde: C_c es el costo del contenido del edificio, C_e es el costo de la pérdida de funcionalidad, C_{in} el costo de las lesiones y C_f el costo de las muertes.

3 Resultados y discusión

El edificio escolar estudiado se encuentra en el Municipio de Juchitán de Juárez, Oaxaca. Consta de 1 nivel y 3 aulas de 7.0 x 8.0 m, está construido de mampostería y marcos de concreto, cuyas columnas son de 0.40 x 0.20 m y sus vigas de 0.35 x 0.25 m. La técnica de reparación consiste en la demolición del concreto dañado y ampliar la sección transversal de vigas y columnas, añadiendo el acero de refuerzo requerido, las secciones reparadas son de 0.45 x 0.25 m para vigas y de 0.50 x 0.30 m para columnas. La estimación del peligro sísmico de Juchitán se realizó siguiendo el Manual de Diseño [5] que recomienda calcular la intensidad sísmica de la roca a través de los espectros de peligro uniforme. En este trabajo se utilizaron 3 espectros de riesgo: el obtenido del manual de diseño como máximo, el segundo como el 90% del máximo y el tercero como el 80% del máximo.

En la tabla 1 se presentan las probabilidades de falla de los elementos que constituyen el marco crítico a partir de un análisis modal espectral con las secciones originales, el estado límite dominante es la combinación de fuerza axial y el momento flexionante para las columnas y el momento para las vigas, estas probabilidades de falla cumplen con las asociadas al reglamento de construcciones del Estado de Oaxaca [6], que es el que se utiliza en el municipio de Juchitán. En la tabla 2 se presentan las probabilidades de falla del estado límite dominante para vigas y columnas, los elementos mecánicos resistentes fueron calculados de acuerdo con la normativa vigente en el Estado de Oaxaca [6]. En la tabla 3 se presenta la probabilidad de falla del marco

crítico con las secciones original y la reparada. En la tabla 4 se presentan los costos de las reparaciones y los costos asociados al colapso de la estructura para cada espectro de diseño.

Tabla 1. Probabilidades de falla con las secciones originales en los elementos del marco crítico.

Elemento	Espectro de diseño	Pf (Pi, Mi)	Pf(Vi)	Pf(Mi)
3	100%	0.39	0.39	0.20
	90%	0.28	0.19	0.08
	80%	0.21	0.16	0.06
7	100%	0.41	0.23	0.22
	90%	0.30	0.15	0.09
	80%	0.24	0.11	0.01
18	100%	N/A	0.31	0.38
	90%	N/A	0.10	0.26
	80%	N/A	0.05	0.16

Tabla 2. Probabilidades de falla para las secciones reparadas.

Elemento	Espectro de diseño	Pf (Pi, Mi)	Pf(Mi)
3	100%	0.016	N/A
	90%	0.012	N/A
	80%	0.01	N/A
7	100%	0.025	N/A
	90%	0.018	N/A
	80%	0.010	N/A
18	100%	N/A	0.025
	90%	N/A	0.018
	80%	N/A	0.010

Tabla 4. Probabilidades de falla del marco crítico para cada espectro de diseño.

Espectro de diseño	Pf del marco crítico con secciones originales	Pf del marco crítico con secciones reparadas
100%	5.6e-03	5.7e-09
90%	5.99e-03	1.56e-08
80%	1.92e-04	7.47e-12

Tabla 5. Costos de reparación y costos asociados al colapso de la estructura para los espectros de diseño.

Tipo de costo	80%	90%	100%
Cr	232,474.7	273,638.09	326,866.18
Cc	15,853.60	45,930.01	86,217.37
Ce	65,125.00	65,125.00	625,125.00
Cin	32,000	11,045.00	58,840.00
Cf	271,812,995.66	271,839,943.74	271,917,150.60
Cd	272,158,448.96	272,235,681.84	273,014,199.15

Con esta técnica de reparación las probabilidades de falla se pueden reducir hasta un $Pf = 0.01$, a diferencia de otras técnicas de reparación como lo son las que se realizan con ángulos de acero o revestimiento con lámina de acero, donde las probabilidades de falla de los elementos disminuyen hasta $Pf = 0.004$ [4], aun así, las probabilidades de falla obtenidas con esta reparación $0.01 < Pf < 0.03$ están en el rango de un nivel de falla moderado [7].

4 Conclusiones

Para esta estructura el modo de falla dominante en las columnas es la combinación de fuerza axial y momento flexionante. En las vigas el modo de falla dominante es el momento flexionante.

Se demostró que el cambio de sección reduce las probabilidades de falla de cada elemento.

Se observa que para esta estructura se puede asociar la probabilidad de falla con el costo mediante la ecuación $(4.581 e^6) Pf^2 + 0.3181Pf + 2.721e^8$.

Se recomienda explorar otras técnicas de reparación y compararlas con la estudiada aquí, para encontrar la alternativa más económica entre las diversas técnicas para distintos niveles de daño, tales como las reparaciones con ángulos de acero, la reparación con lámina de acero y la reparación mediante fibra de carbono.

Referencias

1. Ang, A.H.-S. y De Leon, D., Determination of optimal reliabilities for design and upgrading of structures. Structural Safety, Vol. 19A, pp. 91-103, 1997.
2. Bazán, E. y Meli, R. (2001), Diseño sísmico de edificios, Ed. Limusa, Distrito Federal, México.
3. Bozzo, L. M. y Barbat, A. H. (2004), Diseño sismorresistente de edificios. Técnicas convencionales y avanzadas, Ed. Reverté, Barcelona, España.
4. De León-E. D y Guadarrama, A.D. (2020) Towards a resilient design and retrofit of schools in Mexico. En revisión.
5. Hernández U., Pérez R. L. E., Aguilera M. D., Alarcón N. A., Albavera C. M., Arzola, I., Fortunio J., García C. J., Hernández G., García A. M. N., Picazo G. Y., González D. P. N., Ramírez A. R., Ruedas M. A. R. (2016). C.1.3: Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE.
6. Gobierno del Estado de Oaxaca, Reglamento de construcción y seguridad estructural para el estado de Oaxaca.
7. González Costa Zacarias, Verificación de la fiabilidad estructural en estructuras ejecutadas mediante metodología probabilista. Universidad de Coruña. 2016.

REPARACIÓN DE ESCUELA CON MUROS DE MAMPOSTERÍA Y MARCOS DE CONCRETO CON DAÑOS SÍSMICOS BASADA EN CONFIABILIDAD

García José¹ y De León David²

¹ Universidad Autónoma del Estado de México / Facultad de Ingeniería /
jl-tae-music@hotmail.com

Resumen. El presente trabajo analiza las técnicas de confiabilidad estructural para la reparación óptima de estructuras con un sistema dual, concreto, y muros de mampostería, así como los costos, para generar recomendaciones prácticas sobre el tipo de refuerzo para estado límite de resistencia y de servicio. Se pueden incorporar los modos de falla final y de servicio y se analiza el comportamiento combinado del marco y los muros para identificar los posibles modos de falla desde la capacidad de flexión y corte hasta la deriva entre pisos en una escuela ubicada en el Jicarero, una escuela primaria en el Estado de Morelos, que sufrió algunos daños en los muros y pisos, después del sismo ocurrido el 19 de septiembre del 2017. Se propone una formulación para generar niveles de actualización de seguridad para reparar escuelas dañadas por sismos, mediante la aplicación de la confiabilidad estructural y los conceptos de costos esperados en el ciclo de vida. Se analiza el modelo con un software comercial y se obtienen las respuestas máximas para la escuela mencionada. Se utilizan coeficientes de variación de carga y resistencia reportadas en la literatura para obtener la probabilidad de falla de la escuela dañada.

Abstract. This investigation analyzes the structural reliability techniques for the optimal repair of a structure with a dual system, concrete, and masonry walls. Additionally, analyzes costs and service life to generate practical recommendations on the type of retrofit for the limit condition of endurance and service. The formulation considers ultimate conditions, and the combined performance of the frame and the walls allows the identification of potential failure modes, from bending and slitting capability to drift for an elementary school located in Jicarero, State of Morelos. The school suffered some damage in the walls and floors after the earthquake of September 17, 2017. The proposed formulation serves to develop reliability upgrading recommendations to repair damaged schools by earthquakes, through the use of structural reliability and the concepts of the expected life cycle costs. The model is analyzed throughout a commercial software and the maximum responses are obtained for the aforementioned school. Coefficients of variation for the load and resistance variables reported in the literature, are considered to obtain the school's failure probability.

Palabras clave: Confiabilidad, reparación, mampostería.

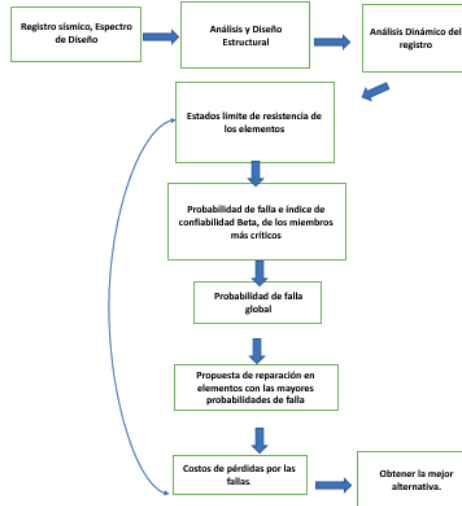
1. Introducción

Tras los sismos del 7 y 19 de septiembre de 2017, se registraron afectaciones en 19 mil 194 escuelas, de los cuales 210 se reportaron daños graves o requerían reconstrucción total. Mientras tanto, en otras 6 mil 970 escuelas hubo daños que fueron clasificados como de moderados a severos, y 12 mil 14 con daño menor, donde había que arreglar acabados, pero no hacer reparaciones a nivel estructural.

El sismo de Acambay a las 7:18 horas del día 19 de noviembre de 1912. Como se sabe, fue un sismo de magnitud 6.9, que devastó gran parte de las comunidades ubicadas en el triángulo que se forma entre Acambay, Atlacomulco y Temascalcingo, en un área aproximada de 200 km². A poco más de un siglo de aquel movimiento telúrico, se espera que en los próximos años se presente un evento de equivalente magnitud en el Estado de México.

2. Metodología

La metodología se resume a continuación:



Caso de Estudio

Se busco el sitio del estado de Morelos, y nos dio que dicho estado está en una zona sísmica C, Se muestra el modelo de la escuela en el Estado de Morelos.

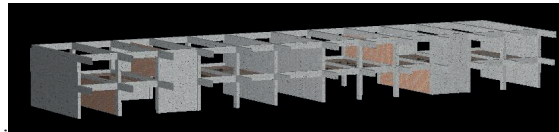


Fig. 1. Modelo escuela.

Siguiendo la metodología anterior se llega a los siguientes resultados.

Tabla 1. Resultados de los daños Columna 150.

Nivel de daño	Fuerza Axial actuante	Momento Actuante	Fuerza axial resistente	Momento Resistente	sG	E(G)	β	Pfi
	PA (T)	MA (T*m)	PR (T)	MR (T*m)				
100%	17.74	3.34	120.00	3.90	0.08	0.00	-0.05	0.52
90%	17.74	3.34	135.00	3.90	0.08	0.01	0.15	0.44
80%	17.74	3.34	130.00	3.99	0.08	0.03	0.33	0.37
50%	17.74	3.34	120.00	4.25	0.08	0.07	0.87	0.19
30%	17.74	3.34	120.00	4.58	0.07	0.12	1.71	0.04

Tabla 2. Resultados Trabe 78

Nivel Daño	ACTUANTES		RESISTENTES		Mr	Mact	β	Pf
	V (ton)	M (ton-m)	V (ton)	M (ton-m)				
100%	8.42	18.24	14.38	18.95	18.58	17.47	0.18	0.43
90%	8.42	18.24	14.38	22.73	22.29	17.47	0.73	0.23

80%	8.42	18.24	14.38	26.32	25.81	17.47	1.16	0.12
50%	8.42	18.24	17.52	33.38	32.73	17.47	1.87	0.03
30%	8.42	18.24	20.97	44.15	43.29	17.47	2.71	0.00

Para la probabilidad de falla global se usó la ecuación (8), los resultados se ven a continuación.

Tabla 3. Probabilidad de falla Global, para diferentes estados de daño

ELEMENTO#	DAÑO LEVE		DAÑO MODERADO		DAÑO SEVERO	
	Pfi	Pfg	Pfi	Pfg	Pfi	Pfg
COL 150	0.044		0.371		0.521	
COL 156	0.044		0.331		0.521	
COL 142	0.056	1.71E-09	0.399	8.71E-04	0.585	3.18E-02
T-78	0.003		0.122		0.427	
T-12	0.005		0.146		0.470	

Se propone una alternativa de refuerzo, para disminuir la probabilidad de falla de la escuela, en este caso fue, encamisado con concreto reforzado.

Se comienza con las columnas con mayor probabilidad de falla, en este caso fueron de sección 25x45 cm, con 8 varillas del #5. Se procedió al encamisado para las columnas y trabes más desfavorables, con la ayuda de la Guía técnica para la rehabilitación sísmica de edificios escolares de la Ciudad de México (Instituto de Ingeniería UNAM, 2019). Después del encamisado, se obtienen las reacciones resistentes, y se vuelve a calcular la probabilidad de falla.

Tabla 4. Descripción de la tabla.

Elemento #	Original	Encamisado (Concreto)
	PF	PF
Col 142	0.58	0.37
Col 150	0.522	0.42
Trabe 78	0.43	0.25

Resultados y discusiones

El procedimiento propuesto es útil para valorar la efectividad económica de alternativas de reparación considerando el costo y la reducción de probabilidad de falla para beneficio de las escuelas ubicadas en zonas sísmicas. Se toman en cuenta las incertidumbres tanto en la demanda sísmica como en las resistencias de columnas, trabes, muros. Es importante contar con un procedimiento que vaya más allá de la práctica actual de reforzar para que la escuela quede igual como estaba antes del sismo lo cual no es ninguna garantía de que vaya a sobrevivir cuando venga el próximo sismo.

Conclusiones

En este artículo se muestra la alternativa de reparación con encamisado de concreto, el ciclo es repetitivo, se pueden incorporar otras alternativas de reparación, con perfiles de acero, sistema de FRP de fibras de carbono, colocar nuevos muros, etc, estas alternativas deben disminuir la probabilidad de falla global. Se recomienda generalizar los estudios para considerar otras escuelas localizadas en sitios de distinto peligro sísmico, con

distintas áreas de construcción y número de niveles, para desarrollar recomendaciones generales aplicables a escuelas de todo el país.

Referencias

- [1] Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República (2017), “El sistema escolar ante los sismos de septiembre de 2017”
- [2] INIFED (2011), “Normas y especificaciones para estudios proyectos construcción e instalaciones”, Volumen 4, Seguridad Estructural, tomo VI, Diseño de estructuras de acero. México.
- [3] Gobierno de la Ciudad de México (2017c), “Normas técnicas complementarias. Diseño y construcción de estructuras de concreto”. Gobierno de la Ciudad de México.
- [4] Gobierno de la Ciudad de México (2017c), “Normas técnicas complementarias. Diseño y construcción de estructuras de mampostería”. Gobierno de la Ciudad de México.
- [5] CFE, (2015), “Manual de Diseño de Obras civiles, Diseño por sismo”. Comisión Federal de Electricidad. México”.
- [6] Cruz, J. (2007), “Análisis de confiabilidad de edificios de concreto reforzado en zonas sísmicas considerando la acumulación del daño estructural durante la vida de servicio” Tesis Doctoral, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [7] Tolentino, L. D. (2009), “Confiabilidad en edificios considerando la influencia del daño acumulado causado por sismos”, Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [8] Ordaz M. y Reyes C. (1999), "Earthquake hazard in Mexico City: Observations versus computations", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 89, No. 5, pp. 1379-1383.
- [9] Reinoso E. (2007), "El riesgo sísmico de la Ciudad de México". Trabajo de ingreso a la Academia de Ingeniería, México.
- [10] Teddy Boen & Associates (2010), buildings damaged by earthquakes", World seismic safety initiative, United Nations.
- [11] Jaimes M.A & Niño M. (2017), “Análisis del costo- beneficio para evaluar opciones para mitigación sísmicas en edificios para escuelas públicas en México”.
- [12] Sánchez Correa M. e Islas Arredondo I. (2017), "Recuento de los daños 7S y 19S: a un mes de la tragedia". Senado de la República. Recuperado de: <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/3721>
- [13] Gilani A. S. J., Miyamoto H.K. and Nifuku T. (2018), "Seismic risk assessment and retrofit of school buildings in developing countries" Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering Integrating Science, Engineering & Policy. Los Angeles, California.
- [14] Mansor M. N. A. and Siang L. Ch. (2019). "Structural retrofitting proposal for representative school facility", IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 244 012045.
- [15] De León D & E. Ismael, (2020), “Optimal retrofit strategy for a school under seismic hazard through reliability and life-cycle expected costs”. En revision en Natural Hazards.

BREVE REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE EL MODELADO Y CONTROL DE CUARIRROTORES

Cravioto Oleg¹, Saldívar Belem^{1,2}, Manuel Alejandro Jiménez-Lizárraga³, Juan Carlos Ávila-Vilchis¹

Resumen. Desde el año 2001 los vehículos aéreos no tripulados (VANT) han sido cada vez más importantes en una amplia gama de aplicaciones. Entre los VANT, los cuadrirrotores destacan por sus ventajas: mayor estabilidad en el vuelo, posibilidad de utilizar motores *brushless*, mayor fuerza de empuje, entre otras. En este artículo se presenta una revisión breve del estado del arte sobre el modelado y control de cuarirrotores en el que se identifican las principales deficiencias que presentan los enfoques existentes.

Abstract. Since 2000 Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have gained importance in a wide range of applications. Among UAV, quadrotors are notable for their benefits: superior flight stability, the possibility of using brushless- motors, higher thrusting force, among others. This paper presents a brief review of the state of the art associated to the modeling and control of a quadrotor in which the main drawbacks of the existent control techniques can be identified

Palabras clave: VANT, cuadricóptero, cuadrirrotor, modelado, control.

1 Introducción

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) se empezaron a desarrollar desde la primera guerra mundial; fueron utilizados como blancos de entrenamiento y como defensa contra los Zeppelines. Era una gran ventaja utilizarlos, ya que, al ser no tripulados, no se ponían en riesgo la vida del piloto. En la segunda guerra mundial se utilizaron para entrenar a los operarios de los cañones. En el siglo XX, los VANTs utilizaron radio controles, lo que permitió su utilización en el aéreo modelismo [1].

El uso de los VANT se ha incrementado en los últimos años. Los VANT pueden ser utilizados para mejorar la vigilancia, aumentando las medidas de seguridad [2]. También se utilizan para la detección y observación de objetivos, el mapeo de sistemas 3D, el monitoreo en la agricultura, etcetera [3]. Entre las ventajas de los VANT se puede mencionar que pueden ser diseñados tan pequeños o grandes como sea necesario, además, pueden ser usados en áreas de alto riesgo y zonas de difícil acceso, tales como cuevas y edificios derrumbados.

Particularmente, los cuadrirrotores han mejorado las características antes mencionadas, por lo que su popularidad se ha incrementado. Debido a su configuración, los cuadrirrotores presentan ventajas que otro tipo de VANT no tienen, por ejemplo, al tener cuatro motores, en caso de que alguno de estos falle, los tres restantes pueden realizar una compensación, evitando un desplome inmediato.

2 Revisión del estado del arte

En el 2001, Gavrillets et al. [4] modelaron y controlaron un helicóptero a escala. Este vehículo carencia de estabilidad cuando se sometía a ráfagas de aire. En este sentido, se empezó a buscar un nuevo sistema que permitiera mayor estabilidad, esto se logró por medio de un cuadrirrotor.

Diferentes modelos matemáticos se han desarrollado para controlar estos vehículos. En general, el desarrollo de estos modelos se ha realizado por medio del formalismo de Euler-Lagrange [5] y Euler-Newton [6]. La complejidad del sistema ha dado lugar a diferentes representaciones matemáticas para describir el sistema desde modelos lineales que simplifican el análisis de sistema, hasta modelos más complejos en los que se implementa una linealización por retroalimentación.

En 2004, Tayebi y McGilvray [7] desarrollaron un modelo que permitió simular el comportamiento del sistema. En el 2012, Figueiredo et al. [8] crearon un simulador combinando las herramientas que ofrece el simulador de vuelo X-Plane 9[®] y Matlab-Simulink[®]. Las pruebas realizadas fueron desarrolladas por medio de un controlador llamado ITA-001, desarrollado por el Instituto Tecnológico de Aeronáutica. El software X-Plane[®] se utilizó para simular la dinámica del sistema, mientras que Matlab-Simulink[®], se empleó para validar la ley de control. Las pruebas realizadas consistieron en controlar la posición del quadrrrotor en el eje z a través de un control Proporcional-Derivativo (PD).

Como ya se mencionó, el quadrrrotor es un sistema complejo, por lo que los primeros trabajos se enfocaron únicamente al control de su altitud [7]. Este control permitió mantener al vehículo en vuelo estacionario, sin embargo, su orientación no era controlada, lo que impedía realizar la tarea de seguimiento de trayectorias. En el 2016 Torres, F. et al. [9] diseñaron un controlador por medio de lógica difusa para la orientación del vehículo, el cual permitió además que el robot se mantuviera en vuelo estacionario.

La complejidad de las tareas que un quadrrrotor puede realizar se ha incrementado significativamente. En la actualidad, estos vehículos son capaces de construir nuevas estructuras, lanzar y atrapar objetos en el aire, realizar acrobacias en el aire, etc. Por este motivo es importante desarrollar controladores robustos capaces de superar las dificultades que se presentan. La mayoría de los controladores para el seguimiento de trayectoria se han realizado por medio de la técnica de backstepping [10]. No obstante, hay otros métodos que se han empleado con este fin, entre ellos podemos mencionar los basados en redes neuronales, control difuso e inteligencia artificial.

A menudo, el ruido presente en el sistema provoca que el vehículo se mantenga en constante movimiento, como consecuencia, la cantidad de energía necesaria para el vuelo se incrementa, sobre todo en el caso en el que se emplean sensores de bajo costo. Tal es el caso del trabajo presentado por Ludwig, S. y Burnham, K. [11] en el que se explica que el método propuesto no es suficiente para aumentar la eficiencia en el consumo de energía.

Debido a la diversidad de tareas que los quadrrrotos deben realizar, deben ser robustos ante perturbaciones, ruido, y otras adversidades. Una de las técnicas que ha ganado popularidad en los últimos años es la técnica conocida como control por modos deslizantes. Esta técnica ha sido implementada en los quadrrrotos tanto en su configuración de primer orden [12], como en la de orden superior [13]. En [14] se mostró que esta técnica de control ofrece un mejor desempeño en comparación con las técnicas LQR (por sus siglas en inglés, *Linear Quadratic Regulator*) y ADRC (por sus siglas en inglés, *Active Disturbance Rejection Control*), en términos del máximo valor absoluto del error de trayectoria.

La propuesta de control presentada por Xiong y Zhang [13] tiene la característica de que la trayectoria de la posición y la velocidad convergen en un tiempo finito. A su vez, el controlador elimina el efecto de conmutación del controlador (*chattering*). Sin embargo, entre las desventajas asociadas se puede mencionar que cuando el sistema alcanza el estado estable, se presentan oscilaciones acotadas.

3 Conclusiones

A pesar del gran número de trabajos existentes sobre el modelado y control de quadrrrotos, esta línea de investigación continúa en creciente desarrollo y gana interés en diversos laboratorios al rededor del mundo. En este sentido, aún existen problemáticas que no han sido resueltas o que necesitan mejorarse, por ejemplo, un desempeño satisfactorio cuando las trayectorias consideradas son complejas (como en el caso de maniobras acrobáticas), que se reduzca el consumo de energía, que se minimice el ruido en las trayectorias del sistema, etcétera. Como trabajo futuro se plantea el diseño de control con el que se espera superar las desventajas de las técnicas existentes. Se busca lograr un seguimiento preciso de trayectorias a pesar de la presencia de incertidumbres del modelo matemático y de las perturbaciones externas, mejorando la eficiencia del dispositivo.

4 Referencias

- [1] K. Desmond, *Electric airplanes and drones: A history*. McFarland, 2018.

- [2] D. A. Gandhi and M. Ghosal, “Novel low-cost quadcopter for surveillance application,” in 2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), pp. 412–414, IEEE, 2018.
- [3] H. A. Lauterbach and A. Nu’chter, “Preliminary results on instantaneous uav-based 3d mapping for rescue applications,” in 2018 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), pp. 1–2, IEEE, 2018.
- [4] V. Gavrilets, B. Mettler, and E. Feron, “Nonlinear model for a small-size acrobatic helicopter,” in AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 2001, 2001.
- [5] Z. Benic, P. Piljek, and D. Kotarski, “Mathematical modelling of unmanned aerial vehicles with four rotors,” *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*, vol. 14, no. 1, pp. 88–100, 2016.
- [6] T. Luukkonen, “Modelling and control of quadcopter,” Independent research project in applied mathematics, Espoo, vol. 22, 2011.
- [7] A. Tayebi and S. McGilvray, “Attitude stabilization of a four-rotor aerial robot,” in 2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (IEEE Cat. No.04CH37601), vol. 2, pp. 1216–1221 Vol.2, Ieee, 2004.
- [8] H. V. Figueiredo and O. Saotome, “Simulation platform for quadricopter: Using matlab/simulink and x-plane,” in 2012 Brazilian Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium, pp. 51–55, IEEE, 2012.
- [9] F. Torres, A. Rabhi, D. Lara, G. Romero, and C. Pégard, “Fuzzy state feedback for attitude stabilization of quadrotor,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 13, no. 1, p. 2, 2016.
- [10] F. Chen, R. Jiang, K. Zhang, B. Jiang, and G. Tao, “Robust backstepping sliding-mode control and observerbased fault estimation for a quadrotor uav,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 8, pp. 5044–5056, 2016.
- [11] S. A. Ludwig and K. D. Burnham, “Comparison of euler estimate using extended kalman filter, madgwick and mahony on quadcopter flight data,” in 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), pp. 1236–1241, IEEE, 2018.
- [12] O. Mofid and S. Mobayen, “Adaptive sliding mode control for finite-time stability of quad-rotor uavs with parametric uncertainties,” *ISA transactions*, vol. 72, pp. 1– 14, 2018.
- [13] J.-J. Xiong and G.-B. Zhang, “Global fast dynamic terminal sliding mode control for a quadrotor uav,” *ISA transactions*, vol. 66, pp. 233–240, 2017.
- [14] Huang, D. Huang, Z. Wang, and A. Shah, “Robustracking control of a quadrotor UAV based on adaptive sliding mode controller,” *Complexity*, vol. 2019, 2019.

SOBRE LA RELACION DEL CONTROL OPTIMO LINEAL CUADRATICO Y LOS MODOS DESLIZANTES DE PRIMERO Y ALTO ORDEN

Celeste Rodríguez Carreón¹, Manuel Jimenez Lizarraga¹, Juan Carlos Ávila-Vilchis², Belem Saldivar²

¹ Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de Mexico, México

Resumen. Este artículo discute la cercana relación entre dos teorías de control: el control óptimo lineal cuadrático y la teoría de control por modos deslizantes. Dicha relación fue vislumbrada inicialmente en los trabajos tempranos de Utkin en los años 70's y después se condensaron en su conocido libro de modos deslizantes [1]. Recientemente estas ideas se han extendido para incluir los modos deslizantes de alto orden. Se demuestra que las dos teorías se encuentran de manera natural en un tipo de problemas identificados como de control singular. En estos problemas la función de costo a minimizar no posee la variable de control, y el mínimo de la misma se encuentra en una variedad de las variables de estado que se interpreta como una superficie de deslizamiento.

Abstract. This paper discusses the closed relation between two control approaches: the linear quadratic optimal control and the more recent sliding mode control. Such a linkage was first indicated by the works of Utkin that later was condensed in his seminar book [1]. In recent times the same ideas have been extended to include high order sliding mode controllers. In a unique way the two theories meet naturally in a kind of optimal control problems called Singular Control problem. In these kind of problems the control signal does not appear in the cost function, and the minimum is found in a manifold which is seen as the sliding mode surface.

Palabras clave: Control por Modos Deslizantes, Control Óptimo Lineal Cuadrático, Control Óptimo Singular.

Introducción

Es posible decir que existen dos enfoques principales en la teoría de control para realizar tareas de regulación de variables así como seguimiento de trayectorias, una está basada en la idea que ciertas señales de salida o variables de interés deben seguir una trayectoria preespecificada. El control en este caso debe llevar a cero una señal de

error mediante una ley de control, esto se conoce usualmente como seguimiento de trayectorias. El segundo enfoque está basado en la optimización de un índice de desempeño. Este índice representa el comportamiento o valores de regulación que se desea que las variables a controlar tengan. En los cincuentas, el control óptimo fue desarrollado para resolver este último tipo de problemas (véase por ejemplo [2], [3]). Por otro lado, la teoría de control por modos deslizantes, en cierta forma fue pensada originalmente para resolver problemas de control utilizando el primero de los enfoques.

Mediante un control discontinuo, las trayectorias son obligadas a moverse en una configuración deseada o hacer cero la dinámica del error. Esta configuración se llama superficie de deslizamiento, que también puede representar errores en las variables de salida. Eventualmente, la conexión entre estas dos teorías fue descubierta y los modos deslizantes óptimos surgieron. En la década de los setentas y ochentas, se entendió que el control óptimo permite incrementar la eficiencia de sistemas de control operando con modos deslizantes. Se mostró que la minimización de un cierto índice era posible introduciendo regímenes de deslizamiento en el sistema (ver [1]). También se entendió que para describir el modo deslizante del sistema no es necesaria la variable de control y esto conlleva a que el índice de desempeño excluya una penalización en las variables de control, esto también se conoce como “cheap control”. Por lo tanto, el diseño del índice de desempeño tendría que incluir únicamente variables del estado y no variables de control, con una matriz de ponderación Q simétrica y definida positiva, mientras que las variables de control no tienen penalización y pueden crecer “libremente” o tener energía infinita. Este tipo de problemas (donde el índice no incluye cargo para el control), ya eran conocidos para la comunidad de control óptimo y eran conocidos como *Problemas de Control Singular*.

En lo que sigue del artículo se detallan las ideas fundamentales de estas dos teorías de control y se discute cómo se unen en los problemas de control singular, así también se explica cómo se involucran los Modos Deslizantes de Orden Superior. La Sección 2 presenta las ideas subyacentes del control por Modos Deslizantes. En la Sección 3 se introducen las principales ideas y resultados del control óptimo. La Sección 4 ilustra cómo se conectan estas dos teorías. En la última sección los problemas de control por modos deslizantes de alto orden son definidos.

Sistemas de Estructura Variable y los Modos Deslizantes

Los modos deslizantes son la principal forma de operación de los llamados sistemas de estructura variable, es decir, sistemas donde la “estructura” de la ecuación diferencial que describe su comportamiento dinámico, cambia de manera súbita. Estos sistemas son capaces de realizar tareas de control bajo severas condiciones de operación (tales como disturbios que afectan al sistema), utilizando el enfoque de corrección de las trayectorias, el sistema es obligado a “deslizarse” en una superficie de los estados. Por otro lado, el Control Óptimo se basa en la minimización de índices de desempeño o función de costo.

Los sistemas de estructura variable son sistemas no lineales discontinuos expresados por una ecuación diferencial de lado derecho discontinuo. Considere la ecuación:

$$\dot{x} = \varphi(x, t) \dots (1)$$

Donde: $x \triangleq (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estados y t es la variable de tiempo y

$$\varphi(x, t) = (\varphi_1(x, t), \varphi_2(x, t), \dots, \varphi_n(x, t)) : \mathbb{R}^{n+1} \rightarrow \mathbb{R}^n$$

es una función continua por tramos del sistema. Esto significa que para diferentes regiones de espacio de estados la función es diferente, y en las fronteras de estas regiones su dinámica cambia

de manera abrupta. Por lo tanto su estructura varía en distintos valores del espacio de estados. El siguiente sistema es un ejemplo que utiliza el cambio de estructura para estabilización. La ecuación diferencial que describe el movimiento del sistema, está dada por:

$$\dot{x} = -kx \dots (2)$$

Claramente el único punto de equilibrio es el origen. La estructura del sistema varía al cambiar el valor de la constante de acuerdo con la siguiente regla:

$$k = \begin{cases} k_1 & \text{si } x\dot{x} > 0 \\ k_2 & \text{si } x\dot{x} < 0 \end{cases} \dots (3)$$

con $k_1 > k_2 > 0$. Las Figuras 1 y 2 muestran los planos de fase obtenidos en simulación para el sistema (2) considerando $k=3$ y $k=0.5$ respectivamente para las constantes. Se observa un perfil elíptico para ambas trayectorias, donde no hay convergencia al origen en ninguno de los casos.

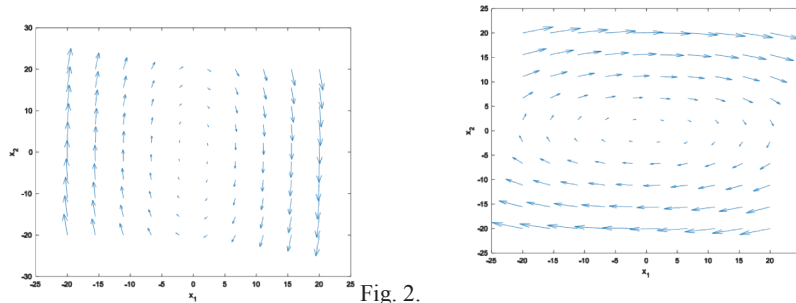


Fig. 2. Diagrama de fase para valor de $k=3$. Diagrama de fase para valor de $k=0.5$.

Sin embargo, al utilizar la ley de conmutación (3) (cambio de estructura) para los distintos cuadrantes del plano de fase, se observa que es posible alcanzar la convergencia al origen (véase la Figura 3). La conclusión es que mediante un cambio de estructura en la ecuación diferencial (2), donde cada constante describe un sistema que no converge al origen, es posible obtener un sistema que tienda a cero asintóticamente.

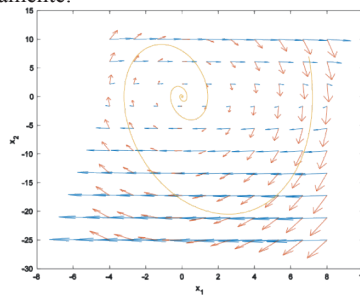


Fig. 3 Diagrama de fase del sistema con ley de conmutación considerando $k_1=3$ y $k_2=0.5$.

Una idea similar de cambio de la estructura es explotada en el control por modos deslizantes para sistemas de ecuaciones diferenciales con entrada de control. Considere el siguiente ejemplo (ver [9]), una ecuación diferencial de primer orden con entrada de control u :

$$\dot{x} = f(x) + u, \text{ con } |f(x)| < f_0 = \text{const} \dots (4)$$

se asume a la función $f(x)$ acotada y con cota f_0 conocida. Esta señal $f(x)$, puede representar dinámicas no modeladas o ruidos entrando al sistema, complicando con esto las tareas de control. Suponga también que se tiene un problema de control llamado seguimiento de trayectoria, es decir se busca que el estado $x(t)$ se comporte como una cierta señal $r(t)$ dada.

Se define la siguiente señal de error:

$$e(t) = r(t) - x(t) \dots \dots \dots (5)$$

El objetivo es llevar a este error de seguimiento a cero mediante un control que cambia la estructura del sistema. Considere el siguiente control discontinuo:

$$u = \begin{cases} u_0 & \text{si } e > 0 \\ -u_0 & \text{si } e < 0 \dots \dots \dots (6) \end{cases}$$

Esto también se puede escribir como $u = u_0 \text{sign}(e)$, u_0 es un control constante. Con este control de cambio de estructura, podemos realizar el seguimiento de la trayectoria de manera efectiva. Esto se puede ver al estudiar el comportamiento de la dinámica del error.

Derivando (5) obtenemos:

$$\dot{e} = \dot{r} - f(t) - u_0 \text{sign}(e), \quad (7)$$

Para lograr la convergencia a cero basta con cumplir la condición $e\dot{e} < 0$. Esto obliga a que el error siempre vaya a cero, debido a que hace que el vector de velocidad del error siempre apunte hacia el origen. Evidentemente, para lograr que dicha condición se cumpla el control constante siempre debe ser mayor que la derivada de la señal de referencia más la cota conocida para la f . Es decir $u_0 > \dot{r} + |f|$, lo cual se asume como verdadero para dicho control constante.

Esta idea del control discontinuo se generaliza para sistemas de dimension n . Considere el siguiente ejemplo de orden dos:

$$\ddot{x} + a_2\dot{x} + a_1x = u + f(t) \dots \dots \dots (8)$$

Donde nuevamente la señal u es el control y $f(t)$ son dinámicas no modeladas o ruidos entrando al sistema, x es la variable de estado y a_1 y a_2 son constantes conocidas del sistema. Para un sistema descrito por tal ecuación se define un comportamiento ideal que se desea que el sistema tome. Esto es equivalente a decir que se busca que el sistema (8), se comporte de acuerdo con cierta configuración del espacio de estados. Considere la siguiente ecuación como comportamiento ideal:

$$\dot{x} + cx = 0 \dots \dots \dots (9)$$

Donde $c > 0$, se observa que si (9) se cumple entonces el estado x se irá a cero exponencialmente aun en la presencia de las dinámicas no modeladas. Es posible tomar nuevamente el control discontinuo de la forma:

$$u = -M \text{sign}(s), \text{ con } s = \dot{x} + cx \dots \dots \dots (10)$$

Donde M es una constante, el control discontinuo propuesto obligará que el sistema (8) se comporte como (9). La condición que debe de cumplirse en este caso será $s\dot{s} < 0$. La ecuación (9) también recibe el nombre de superficie de deslizamiento. En la Figura 4 se ilustra cómo las trayectorias siempre se orientan hacia la superficie $s=0$, y permanecen ahí hasta la convergencia sin importar la presencia de las incertidumbres.

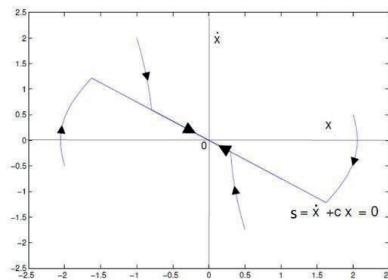


Fig. 4 Superficie de deslizamiento.

El Control Óptimo

La teoría de control óptimo describe la aplicación de fuerzas a un sistema con el propósito de maximizar o minimizar una medida de desempeño o función de costo. Los objetivos de optimización podrían ser por ejemplo: minimizar el tiempo requerido para transferir el sistema de un estado a otro,

minimizar la energía o combustible usado en la transferencia de un estado a otro. El planteamiento de problema de control óptimo es como sigue: se busca un control admisible que minimice el índice llamado criterio de Bolza [2]:

$$J(u(\cdot)) := h_0(x(T)) + \int_0^T g(x(t), u(t), t) dt \dots \dots (11)$$

Sujeto al movimiento dinámico:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t), \quad x(0) = x_0 \dots \dots \dots (12)$$

El resultado de tal minimización nos dará una trayectoria óptima del estado que minimiza el índice (11) en cada punto del intervalo. Lo que se busca en el control óptimo es encontrar funciones de control que minimicen (11)-(12), depende el criterio se puede buscar minimizar el tiempo de alcance o minimizar alguna distancia (ver Figura 5).

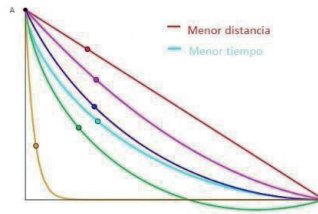


Fig. 5 Trayectorias óptimas.

Para mencionar brevemente una de las herramientas más importantes para síntesis de controles óptimos se indicarán las condiciones necesarias del principio de Pontryagin [2]. Para encontrar el control óptimo tenemos que resolver un problema con condiciones en la frontera (condiciones iniciales y finales) de un sistema Hamiltoniano de 2 n variables dado por:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \frac{\partial H}{\partial \lambda}(x, \lambda, u, t) = f(x, u, t), & x(0) &= x_0 \\ \dot{\lambda} &= -\frac{\partial H}{\partial x}(x, \lambda, u, t), & \lambda(T) &= \text{grad } h_0(x)|_{x=x^*(T)} \end{aligned} \quad (11)$$

y para todo $t \in [0, T]$. Donde las nuevas variables λ son llamadas los coestados del sistema.

La condición de optimalidad establece que el control óptimo u^* debe cumplir la condición:

$$H(x^*, \lambda^*, u^*, t) = \min_{u \in U} H(x^*, \lambda^*, u, t)$$

Donde:

$$H(x, \lambda, u, t) = \lambda^T f(x, u, t) + g(x, u, t) \dots \dots \dots (12)$$

Es decir el control óptimo deberá minimizar el Hamiltoniano del sistema. La minimización de la función H puede ocurrir en la frontera del conjunto admisible de control. Note que la función (12) es muy similar una función de Lagrange cuando se busca optimizar una función

(estática) sujeta a restricciones. En este sentido los vectores λ pueden verse como

“multiplicadores de Lagrange”, aunque en este caso son funciones vectoriales **a determinar o encontrar** y que deben de cumplir condiciones de frontera. Estas son las condiciones

generales de optimalidad. Tenemos un caso particular muy importante que es el de plantas lineales con índices cuadráticos. Se busca minimizar:

$$J(u(\cdot)) = \frac{1}{2} x^T Q_f x + \frac{1}{2} \int_0^T (x^T Q x + u^T R u) \dots \dots \dots (13)$$

Sujeto a:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t); \quad x(0) = x_0 \dots \dots \dots (14)$$

Las matrices que participan en (13) son matrices de ponderación de dimensiones adecuadas, así también las matrices de la dinámica (14). Aplicando las condiciones generales de

Pontryagin y buscando los vectores λ en forma de una función lineal del estado es decir $\lambda = P(t)x(t)$ (los detalles pueden consultarse en [2]). El control óptimo toma la forma en retroalimentación de estados:

$$u^*(t, x) = -R^{-1}B^T P(t)x(t) \dots \dots \dots (15)$$

Donde la matriz de ganancia P es solución de la ecuación de Riccati matricial:

$$-P = PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q; \quad P(T) = Q_f \dots \dots \dots (16)$$

Como se observa (16) tiene condiciones de frontera final, esto quiere decir que debemos resolver un sistema donde unas variables tienen condiciones iniciales, es decir los estados, y otras condiciones finales, la ecuación de Riccati (16) que están dadas.

Relación entre el Control Óptimo y el Control por Modos Deslizantes

La conexión entre estas dos teorías viene dada por la minimización del índice del tipo:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x^T Q x) dt \dots \dots \dots (17)$$

Sujeto a:

$$\dot{x} = Ax + Bu; \quad x(0) = x_0; \quad A \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad B \in \mathbb{R}^{n \times m}$$

Note que en (17) el horizonte de tiempo es infinito a diferencia del índice definido en (13) que es de tiempo finito. Note también que no se incluyen las variables de control debido a que el control por modos deslizantes se define como un control de alta ganancia siendo aplicado en una superficie de discontinuidad con una frecuencia infinita así que no tiene sentido decir que se minimiza u . La minimización de (17) estará dada en el espacio de estados. Este conjunto de valores mínimos del costo se tomará como la superficie de deslizamiento y mediante la aplicación de un control discontinuo se obligará al sistema a moverse en estas. Para obtener tal mínimo, se aplica el cambio de variable $x = Tz$, y se definen dos conjuntos del nuevo estado z_1 y z_2 , el mismo índice se puede representar de la siguiente manera (los detalles pueden consultarse en [1]):

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (z_1^T Q_{11} z_1 + v^T Q_{22} v) dt \dots \dots \dots (18)$$

Donde se han aplicado las transformaciones:

$$TQT^{-1} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{pmatrix}; \quad TAT^{-1} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{21} \end{pmatrix}$$

La dinámica transformada es:

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{21} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u$$

Además, en (18), se define la variable: $v = z_2 + Lz_1$ que funciona como control virtual. Por conveniencia se selecciona $L = Q_{22}^{-1}Q_{12}^T$. Con esta transformación podemos aplicar los resultados previos de control óptimo para la planta lineal cuadrática y podemos obtener un control óptimo dado por:

$$z_2 = -(Q_{22}^{-1}A_{12}^T K + L)z_1 \dots \dots \dots (19)$$

Donde la ganancia K es solución de la siguiente ecuación de Riccati:

$$K(A_{11} - A_{12}Q_{22}^{-1}Q_{12}^T) + (A_{11} - A_{12}Q_{22}^{-1}Q_{12}^T)^T K - KA_{12}Q_{22}^{-1}A_{12}^T K + (Q_{11} - Q_{12}Q_{22}^{-1}Q_{12}^T) = 0, \dots \dots \dots (20)$$

El punto clave a continuación es que si se logra que las variables del sistema se comporten como el control (19) estaríamos logrando minimizar (18). Por lo tanto definimos como superficie de deslizamiento la ecuación:

$$z_2 + (Q_{22}^{-1}A_{12}^T K + L)z_1 = 0, \dots \dots \dots (21)$$

Observe que si derivamos (21) la señal de control real u de la ecuación de estados aparece. Esto implica que podemos usar un control por modos deslizantes para forzar al sistema a moverse en estos valores óptimos a través de un control discontinuo. Notamos que aquí la variable z_2 representa solo un control virtual.

Problemas de Grado Relativo Mayor a uno

Es bien sabido que el control por modos deslizantes tradicional para que funcione requiere que en la primera derivada de la superficie aparezca la variable de control. Esto se conoce también como grado relativo, que se define como las veces que se requiere derivar una señal para que aparezcan las variables de control. Debido a esto en el libro [1] solo se estudia el caso cuando la matriz Q es definida positiva estrictamente. Esto resulta en que efectivamente la superficie óptima tendrá grado relativo uno. Pero otro conjunto de problemas interesante resulta cuando eliminamos variables a optimizar en el criterio (17) (ver [4] y [5]). Con esto el grado relativo del problema se incrementa. Esto se puede ver de una manera muy clara en el siguiente ejemplo. Considere minimizar el siguiente índice:

$$J_2 = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (z_1^2(t) + z_2^2(t) + z_3^2(t)), \dots \dots \dots (22)$$

Sujeto al movimiento dinámico:

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \\ \dot{z}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \alpha_4 & -\alpha & -\alpha_2 & -\alpha_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ b \end{pmatrix} u, \dots \dots (23)$$

El problema de optimización (22)-(23) es singular, ya que el control u no está incluido en el índice y también es singular respecto a la variable z_4 la cual tampoco participa. Aplicando la metodología de control lineal cuadrático (LQ) tomando la variable z_3 como control virtual obtenemos la superficie:

$$z_3 + p_{21}^2 z_1 + p_{22}^2 z_2 = 0$$

Donde los parámetros involucrados son solución de la correspondiente ecuación de Riccati algebraica. Derivando la superficie óptima obtenemos:

$$\dot{s}(z) = p_{21}^2 z_2 + p_{22}^2 z_3 + z_4$$

En donde no aparece el control por lo que el Modo Deslizante tradicional de orden uno no puede ser aplicado para mantener las trayectorias en la superficie deseada. Tomemos ahora la segunda derivada de la superficie óptima:

$$\ddot{s}(z) = p_{212} z_3 + p_{222} z_4 - \alpha_4 z_1 - \alpha_3 z_2 - \alpha_2 z_3 - \alpha_1 z_4 + bu$$

Vemos que en la segunda derivada ya aparece el control por lo que esto demanda la aplicación de lo que son llamados actualmente el control por modos deslizantes de alto orden, en este caso de orden dos. Los modos deslizantes de orden superior son una herramienta poderosa para resolver este tipo de problemas. La estructura de una familia conocida de controles de alto orden llamados controles anidados tiene la forma (hasta el orden 3):

$$\begin{aligned} 1. u_1 &= -\Phi_1 \text{sign}(s), \\ 2. u_2 &= -\Phi_2 \frac{\dot{s} + |s|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(s)}{|\dot{s}| + |s|^{\frac{1}{2}}}, \\ 3. u_3 &= -\Phi_3 \frac{\ddot{s} + 2(|\dot{s}| + |s|^{2/3})^{-1/2} (\dot{s} + |s|^{\frac{2}{3}} \text{sign}(s))}{|\ddot{s}| + 2(|\dot{s}| + |s|^{2/3})^{1/2}} \end{aligned}$$

La razón de porque estos controladores realizan la convergencia de la trayectoria de estado al origen puede encontrarse en [8].

Conclusiones

Este artículo explica de manera general la conexión entre la teoría de control óptimo y la teoría del control por modos deslizantes. Esta conexión viene a través de la solución de problemas del control singular donde los valores mínimos del costo se convierten en la superficie de deslizamiento donde se busca que las trayectorias del sistema se muevan. Dicha superficie puede tener grado relativo uno o mayor, de donde ocurre la necesidad de utilizar de manera natural los modos deslizantes de orden superior.

Referencias

- [1] V. Utkin, *Sliding Modes in Control and Optimization*, Berlin, Springer-Verlang, 1991.
- [2] L. Pontryagin, V. Boltyanskii, R. Gamkrelidze, and E. Mishchenko, *The Mathematical Theory of Optimal Processes*," Interscience Publishers, New York, 1962.
- [3] R. Bellman, "*Dynamic Programming*", Princeton University Press, N.Y. 1957.
- [4] I. Castillo, M. Jimenez-Lizarraga and E. Ibarra, "Higher Order Sliding Modes Manifold Design via Singular LQ Control Journal of the Franklin Institute vol 35 Issue 7, July 2015, pag. 2810-2830. DOI.org/10.106/j.franklin.2014.12.008.
- [5] M. Jiménez-Lizárraga^c, E. Ibarra "Robust Singular Optimization for Linear Time Varying System by Integral High Order Sliding Mode" *Optimal Control Applications and Methods*, September/October 2017, Vol 38, Is 5, pp. 860-879. DOI: 10.1002/oca.2294.
- [6] M. Jiménez-Lizárraga and E. Ibarra "High Order Singular Optimization for Linear Systems: Probe Landing Application". *Proceedings of the International Conference on Engineering and Applied Science Optimization*, 4-6 June 2014 *Kos Island Greece*.
- [7] P. Castillo, E. Ibarra and M. Jiménez-Lizárraga "A HOSM control algorithm to stabilize the quadrotor vehicle with experimental validation" *Proceedings of the 2013 International Workshop on Research, Education and Development on Unmanned Aerial Systems, RED-UAS 2013*, Nov 20-22, 2013, Compiègne, France, pag 174-180.
- [8] Y. Shtessel, C. Edwards, L. Fridman, and A. Levante, *Sliding mode control and observation*. 978-081764892-3, Springer, 2014.
- [9] V. Utkin, J. Guldner and J. Shi, *Sliding mode control in electro-mechanical systems*, CRC Press, New York, 2009.

REGLAS DE COMPETENCIA ENTRE GRUPOS BACTERIANOS DEL LODO AEROBIO GRANULAR (LAG) Y SU APLICACIÓN A LA PREDICCIÓN DEL DESEMPEÑO DE CASOS DE REACTORES DE LA LITERATURA

Daniela HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Mercedes LUCERO CHÁVEZ², Ericka Lizeth MILLÁN LAGUNAS² y Cheikh FALL^{2*}

^{1,2} Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México/ Carretera Toluca - Ixtlahuaca Km 14.5, Toluca, Estado de México/
cfall@uaemex.mx

Resumen. El punto central de esta revisión es el enunciado de nueve reglas generales que ayuden a la interpretación y predicción del desempeño potencial, así como a un pronóstico de los grupos funcionales que se pueden presentar en un proceso de lodo aerobio granular (LAG). Las nueve reglas son una herramienta que permite predecir la tendencia de experimentos a realizar sin tener que llegar al uso de simuladores. Por otra parte, contribuir con un registro de la composición de los influentes, parámetros de operación, etapas y tiempos del ciclo, parámetros de diseño y porcentajes de remoción de diferentes autores; con la finalidad de contar con una síntesis de estos puntos de los últimos años. Para la experimentación propuesta se aplicaron las 9 reglas a un plan estadístico de Plackett Burman de 8 corridas compuesto de 4 parámetros (DQO, OD, N y P) a 2 niveles (alto y bajo). Los resultados obtenidos muestran la predicción de las 8 corridas con relación a los tipos de microorganismos presentes y la capacidad de remoción.

Abstract. The objective of this review is to state nine rules of thumb to help to interpret and predict the potential performance and make predictions about the functional groups that can occur in the granular aerobic sludge process (LAG-RBS). It is a tool for predicting trends in experiments without the use of a simulator. On the other hand, records of influent composition, operating parameters, stage and cycle times, design parameters and removal rates are provided by the different authors; allowing a comprehensive analysis of these points over the years. In the review, these 9 rules were applied to the Plackett Burman statistical scheme for 8 runs composed of 4 parameters (COD, DO, N and P), at 2 levels (high and low). The results obtained show the prediction of the type of microorganisms present and the removal capacity for the 8 runs.

Palabras clave: LAG, microorganismos y reglas.

1 Introducción

Desde el descubrimiento de la tecnología del lodo aerobio granular (LAG), se han realizado numerosas investigaciones que se interesaron en la formación del gránulo, su maduración, los grupos funcionales que lo conforman (organismos oxidantes de amonio (AOO), organismos oxidantes de nitrito (NOO), desnitrificantes, organismos acumuladores de fósforo (PAO), organismos acumuladores de glucógeno (GAO), PAO desnitrificantes (dPAO) y GAO desnitrificantes (dGAO), la influencia del modo de alimentación, y otros criterios que afectan la estabilidad del LAG. Partiendo de este conocimiento, una de las metas de este trabajo es proponer nueve reglas que ayuden a la predicción de los grupos funcionales microbianos que podrían estar presentes dentro del gránulo, así como el pronóstico de la capacidad potencial de remoción de N (nitrógeno) y P (fósforo) en un LAG.

2 Metodología

2.1 Reglas de competencias entre microorganismos PAO, GAO, OHO, AOO, NOO y desnitrificantes

Tabla 1. Reglas de competencia propuestas entre microorganismos

No. 1	En presencia de niveles mínimos de P y N en los influentes (DQO/N/P de 100/5/1), los nutrientes son utilizados principalmente y en prioridad en la síntesis celular.
No. 2	La alternancia de una fase anaerobia con abundancia de sustrato carbonoso y de una fase aerobia en condiciones de hambruna favorece el crecimiento y la selección de las bacterias capaces de almacenar acetato en la etapa anaerobia.
No. 3	Las bacterias GAO y PAO compiten entre sí.
No. 4	La fuga de DQO hacia la etapa aerobia debido a una absorción anaerobia incompleta favorece la operación de OHO.
No. 5	Durante la fase de aireación del RBS, un nivel de OD intermedio ocasiona dos zonas en el gránulo, una aerobia externa y otra no aireada interna.
No. 6	Es importante señalar que, en todo caso, no habrá desnitrificación sin nitrificación previa o simultánea.
No. 7	La fuerza de corte (flujo de gas en el reactor) y la carga orgánica (concentración de DQO del influente) determinan el diámetro del gránulo.
No. 8	Los dPAO y dGAO utilizan los PHA como fuente de C endógeno durante la desnitrificación simultánea.
No. 9	También en este último caso, el NO_3^- y el OD residual presente en el licor mixto (1/2 volumen del lodo reactor) estarían retornando al inicio del ciclo.

2.2 Propuesta de diseño experimental al que se aplicarán las reglas

El diseño es un plan estadístico de Plackett-Burman [1], donde se combinan los 4 parámetros seleccionados (DQO, OD, relación de DQO/N/P, con niveles bajos (350 mg/L, 2.0 mg/L, 100/1 y 100/5 respectivamente) y altos de cada uno de ellos (500 mg/L, 6.0 mg/L, 100/2.2 y 100/8 respectivamente). En el diseño, se consideran 8 experimentos utilizando diferentes combinaciones de los cuatro parámetros propuestos, sin que éstos se repitan o se dupliquen de acuerdo al plan estadístico.

3 Resultados y discusiones

3.1 Aplicación y reglas de competencia a las corridas del diseño propuesto de experimentos

Aplicando las nueve reglas propuestas a las ocho corridas es posible obtener los siguientes perfiles de microorganismos (**Tabla 2**):

Tabla 2. Resumen de organismos que remueven C, N y P.

Microorganismos # Corridas	Resumen de microorganismos abundantes	Remociones esperadas
Corrida 1	GAO	DQO
Corrida 2	AOO/NOO/ dPAO	DQO, NH ₄ ⁺ , NT, P
Corrida 3	PAO	DQO, P
Corrida 4	GAO/AOO/NOO	DQO, NH ₄ ⁺
Corrida 5	GAO	DQO
Corrida 6	AOO/NOO/PAO	DQO, NH ₄ ⁺ , P
Corrida 7	PAO	DQO, P
Corrida 8	AOO/NOO /dGAO	DQO, NH ₄ ⁺ , NT

Si se toma en cuenta los resultados de la **Tabla 2** y se comparan con los artículos recabados, por ejemplo, la corrida número 6 con el trabajo de Pishgar y colaboradores [2], se observa el mismo comportamiento ya que existe las remociones de DQO (91±1%), N como N-NH₄⁺ (21±3) y P (65±8). Otra comparativa de la corrida número 6 se puede hacer con el trabajo de Bucci y colaboradores [3] con su reactor número 2, ya que la relación DQO/N/P es de 100/12/5, con concentración de OD de 6.0 mg O₂/L y con remociones del 74% de N como de N-NH₄⁺, 76% de NT y 48% de nitrógeno inorgánico.

3.2 Estudios recientes del LAG de la literatura v/s las reglas de competencia

En relación al conglomerado de los recientes estudios se observó que de los 25 reactores analizados 24 utilizaron RBS, esto obedece a su simplicidad y flexibilidad de operación. Además, dentro de los parámetros de diseño el volumen que más se ha empleado es el de 3 L (6 reactores) y 3.6 L (6 reactores). De los 25 reactores 11 utilizan un volumen de intercambio del 50 %. Por otro lado, la relación de altura y diámetro no es reportada en la mayoría de los artículos, así mismo la altura, el diámetro, la velocidad crítica, la velocidad del gas, etc. Mientras tanto el tipo de ciclo más utilizado es el anaerobio/óxico (con 6 reactores). Se debe mencionar que 10 reactores no reportan su DQO inicial y la relación DQO/N/P tampoco es reportada con frecuencia; sin embargo, es fundamental para poder predecir el desempeño del reactor y los potenciales grupos funcionales. Tomando en cuenta el aglomerado de trabajos del LAG, se afirma que son pocos los trabajos que cuentan con la información necesaria para poder duplicar los experimentos. Trabajos como los de Pishgar y colaboradores [4, 5, 6 y 7] muestran parámetros de

operación de los reactores, composición del agua sintética y porcentajes de remoción; sin embargo, los parámetros que menos son reportados son los del diseño del reactor. Por esta razón la necesidad de crear un aglomerado de parámetros de diferentes autores con la finalidad de revisar cómo se comportan los sistemas tomando en cuenta los cuatro parámetros de operación de interés (DQO, concentración de OD, N y P), sin dejar de lado los parámetros de diseño del reactor, la relación de DQO/N/P, el ciclo como tal y sus etapas, así como las remociones que obtuvieron.

4 Conclusiones

El contar con las nueve reglas ayudará y facilitará la predicción e interpretación del desempeño que pueden tener los reactores LAG respecto a su desempeño potencial, así como un pronóstico de los grupos funcionales que se pueden presentar.

Con la aplicación de las 9 reglas se pudo realizar la predicción del desempeño esperado en las 8 corridas donde se utilizó el plan estadístico de Plackett-Burman, el cual será corroborado en un trabajo experimental futuro, para confirmar las nueve reglas propuestas.

De las investigaciones sobre LAG, respecto a los parámetros de diseño, la composición del agua sintética, los parámetros de operación, el tipo de ciclo, así como las etapas y los porcentajes de remoción muestran cómo se ha estado trabajando en los últimos años y cuáles son los puntos que deben ser estudiados y de cuáles ya se tienen referencias sólidas para que sean tomados como base.

Referencias

1. D.J. Wheeler; Understanding Industrial Experimentation. 2da edi. SPC Press (1990).
2. R. Pishgar, J. A. Dominic, Z. Sheng, y J. H. Tay: Influence of operation mode and wastewater strength on aerobic granulation at pilot scale: Startup period, granular sludge characteristics, and effluent quality. *Water Research* 160, 81–96 (2019).
3. P. Bucci, B. Coppotelli, I. Morelli, N. Zaritzky, y A. Caravelli: Simultaneous heterotrophic nitrification and aerobic denitrification of wastewater in granular reactor: Microbial composition by next generation sequencing analysis. *Journal of Water Process Engineering* 36 (2020).
4. B.-J. Ni, W.-M. Xie, S.-G. Liu, H.-Q. Yu, Y.-Z. Wang, G. Wang, y X.-L. Dai: Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater. *Water Research* 43 (3), 751–761(2009).
5. Q. Yuan, H. Gong, H. Xi, H. Xu, Z. Jin, N y Ali, K. Wang: Strategies to improve aerobic granular sludge stability and nitrogen removal based on feeding mode and substrate. *Journal of Environmental* 84, 144–154 (2019).
6. K. A. Jafari, y Q. Yuan: Long-term stability and nutrient removal efficiency of aerobic granules at low organic loads. *Technology Bioresource* 234, 336–342 (2017).
7. Q. He, J. Song, W. Zhang, S. Gao, H. Wang, y J. Yu: Enhanced simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal through mixed carbon source by aerobic granular sludge. *Journal of Hazardous Materials* 382, (2020).



The background of the page is a complex stained glass pattern. It features a dense network of dark brown, swirling lines that create a web-like structure. The spaces between these lines are filled with various colors, including shades of brown, orange, tan, light blue, and pale green. The overall effect is reminiscent of traditional stained glass art, with a rich, textured appearance.

INTEGRARE

LA REVISTA INFORMATIVA DE TU FACULTAD

