

<http://www.inii.ucr.ac.cr/revista>
www.ucr.ac.cr / ISSN 1409-2441

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

II Jornadas de Investigación Facultad de Ingeniería, Volumen Especial




EDITORIAL
UCR



FI
Facultad de
Ingeniería

INII
Instituto de
Investigaciones en
Ingeniería

Memoria de conferencias de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería

10 al 12 de noviembre de 2020

PERSONAS EDITORAS

Orlando Arrieta-Orozco

Karina Castro-Arce

Víctor Schmidt-Díaz

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Instituto de Investigaciones en Ingeniería

INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA EDITORIAL DEL VOLUMEN ESPECIAL

IEEE:

[1] O. Arrieta-Orozco, K. Castro-Arce, and V. Schmidt-Díaz, Eds., “II Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2020”. En *Volumen Especial Revista de Ingeniería*, 2021, pp 1-237. Doi 10.15517/ri.v31i0.48008

APA:

Arrieta-Orozco, O., Castro-Arce, K., & Schmidt-Díaz, V. (Eds). (2021). II Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2020. En *Volumen Especial Revista de Ingeniería*. Universidad de Costa Rica, pp 1-237. Doi: 10.15517/ri.v31i0.48008

Diseño de portada: Melissa González Villalobos.

Diagramación: Marcela Quirós Garita y Melissa González Villalobos.

TABLA DE CONTENIDOS

Presentación	i
Acerca de este Volumen Especial de la Revista de Ingeniería	iii
Acerca de las personas editoras de este Volumen Especial	iv
 TEMA I	
Espacio y servicios públicos: Infraestructura, uso y calidad	1
Análisis y mejora para un elevador oscilante	3
Análisis cinemático de máquinas biosaludables	7
Propuesta de conexión al alcantarillado sanitario para dos asentamientos informales en la Gran Área Metropolitana	11
Determinación de los factores camión para pavimentos rígidos de Costa Rica en el período 2007-2017.....	15
Evaluación del desempeño técnico y administrativo, y plan de mejoramiento para un acueducto pequeño	19
 TEMA II	
Automatización e interacción humano-tecnologías, Inteligencia artificial e internet de las cosas (IoT)	23
Diseño de un controlador PI inmune óptimo	23
Implementación de un controlador DMC para una columna de destilación binaria	31
Terapia fototérmica controlada mediante lógica difusa multivariable	35
Procesamiento de Señales de Habla basado en Deep Learning	39
Desarrollo de Tecnologías del Habla en Costa Rica	43
 TEMA III	
Mediciones de variables físico-ambientales y sus aplicaciones	47
¿Qué información brinda una base de datos de aguas vertidas en un sistema de irrigación?	49
Análisis de Firmas Hiperspectrales del Pasto Estrella Africana (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) Bajo Régimen de Pastoreo	53
Prueba de vibración ambiental del puente sobre río Chirripó, Ruta Nacional 32, Costa Rica	57
 TEMA IV	
Vivienda social: planificación, construcción, calidad	61
Proyectos de Vivienda Social en Costa Rica 2011-2018	63
De la teoría a la práctica: fases ejecutadas en dos procesos de reasentamiento involuntario	67
Efecto de la relación de aspecto en muros de mampostería parcialmente rellena confinada reforzada: Ductilidad y Rigidez	71
Propuesta de mejoramiento a los procesos de diseño y aprobación de conjuntos residenciales de interés social	75
Estrategia integral para el abordaje de la vivienda social en Costa Rica	79
Evaluación de las condiciones socioeconómicas y la infraestructura de dos proyectos de reasentamiento involuntario	83
Hacinamiento y conflictos normativos: incertidumbres existentes en el modelo de vivienda social en Costa Rica	87

TEMA V

Conversión, reconversión y aprovechamiento de recursos naturales	91
Producción de celulosas por <i>Trichoderma</i> sp, utilizando biomasas lignocelulósicas pretratadas como sustrato	93
Cocina gasificada para aprovechamiento de biomasa residual Wood gas stove fueled with residual biomass	97
Evaluación del uso de carbón activado producido a partir de rastrojo de piña en la remoción de azul de metileno	101
Licuefacción hidrotérmica del rastrojo de piña para la obtención de biocrudo	105
Soporte catalítico estructurado impreso en 3D para la degradación de contaminantes emergentes mediante el proceso de Fenton	109
Control vectorial de un generador lineal para la conversión de energía undimotriz utilizando convertidores fuente de corriente	113

TEMA VI

Modelado y prototipado: software, sistemas, herramientas, aplicaciones	117
Optimización de cruces ferroviarios en redes de vía simple mediante algoritmos voraces y genéticos	119
Diseño de un Sistema de Ruedas de Reacción para un CubeSat de Tres Unidades	123
Identificación y modelado dinámico de una mesa vibratoria y una estructura de un piso	129
Análisis paramétrico de esfuerzos en la soldadura de conexiones circulares bridadas	133
Aplicación de la simulación en tiempo real al estudio de protecciones en sistemas eléctricos	137
Diseño y ajuste en línea de un estabilizador de sistemas de potencia	141
Enlace inalámbrico para pruebas de convertidor resonante de potencia	145
Flujo en compuerta inferior de represa bidimensional por el método de SPH	149
Prototipo de una celda unidad de batería aluminio-aire en flujo	153
Implementación de Sistema Automático de Monitoreo para Proyecto de Cosecha de Agua en Monteverde	157

TEMA VII

Pedagogía y formación: herramientas, crítica, virtualidad	163
Aplicación de rúbricas para medir los indicadores de atributos de egreso	165
Experiencias de aprendizaje basado en proyectos en cursos de Computación: aciertos y retos	169
Factores determinantes en la escogencia de la carrera de Ingeniería Química en la Universidad de Costa Rica	173

TEMA VIII

Ordenamiento territorial, gobernanza territorial, paisaje	177
Conservación de Suelos y ordenamiento territorial en las faldas del volcán Irazú	179
Paisajes Culturales: perspectivas para la conservación del paisaje en Costa Rica	183
Explorando los efectos del COVID-19 en los precios de propiedades y alquileres urbanos de la GAM	189
Vivienda inclusiva de alta densidad y derecho a la ciudad en Costa Rica	193
Evaluación de la metodología del Desarrollo Orientado al Transporte Público en corredor vial	197

TEMA IX

Prevención y mitigación de riesgos + soporte y mejoramiento de procesos	201
Análisis de sitios de concentración de choques viales mediante la utilización de sistemas móviles para el inventario de carreteras en la Ruta Nacional 1	203
Análisis de modos de falla, efectos y criticidad a un aerogenerador doblemente alimentado	207
Monitoreo de condición del sistema de aislamiento de motores eléctricos mediante índice de salud	211

TEMA X

Materiales comunes y bioinspirados: carecterísticas, calidad, aplicaciones	217
Densificación de polímeros para funcionar como agregados en materiales de construcción	219
Asfaltos modificados en almacenamiento: Un estudio de su comportamiento a condiciones críticas	221
Obtención de nanocelulosa funcionalizada, como método de adsorción de cromo	225
Evaluación de Pavimentos Verdes a Escala Natural	227
Evaluación del efecto del proceso de desmineralización de hueso bovino en la forma y composición de nanopartículas de hidroxapatita producidas por electrosíntesis	231
Mezcla asfáltica modificada con diferentes materiales de desecho	235

PRESENTACIÓN

Las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería surgieron en el 2019 como una iniciativa conjuntamente impulsada por la Decanatura de la Facultad y la Dirección del Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Se buscaba generar un espacio que representara una ventana de exposición de los muchos trabajos realizados por el personal docente e investigador, así como de la población estudiantil.

En octubre de 2019 se realizaron las I Jornadas de Investigación y en ellas se presentaron un total de 38 ponencias, en diferentes áreas temáticas relacionadas a la ingeniería y la arquitectura, con la participación de las Escuelas de la Facultad de Ingeniería y de otras Unidades de Investigación. Se tuvo una estructura que contemplaba dos modalidades: trabajos de investigación de personal docente-investigador y ponencias presentadas por parte de la población estudiantil como resultado de proyectos de cursos, participación en investigaciones o trabajos finales de graduación.

A partir de la experiencia de la primera edición de las Jornadas de Investigación, se hace una revisión y un replanteamiento mejorado para la segunda ocasión de dicho evento, que se llevó a cabo en noviembre de 2020. Adicionalmente, debido a la pandemia por COVID-19 se realiza una planificación del evento para ser desarrollado totalmente bajo la modalidad virtual.

Los cambios implementados consistieron en ampliar las temáticas a tratar, introducir una modalidad adicional para incluir los trabajos de investigación que se encuentren en desarrollo y diferenciarlos de las investigaciones consolidadas, manteniendo lo relativo a la presentación de la población estudiantil. Se buscó además estructurar un segmento para incorporar la participación de estudiantes del Programa de Doctorado en Ingeniería y de esa forma mostrar el avance de los proyectos de investigación.

Para las II Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería se presentaron en total 70 ponencias, que representaron un 85% de aceptación respecto al total presentado y que fue el resultado de la revisión preliminar realizada por el Comité Evaluador, cuya integración incluía al menos una persona en representación de cada una de las Unidades Académicas de la Facultad de Ingeniería.

Como parte de las ideas desarrolladas para la edición 2020, se realizó una coordinación y una articulación con la Revista Ingeniería, para la publicación de los resúmenes de cada una de las ponencias presentadas. El presente número especial representa un esfuerzo que incluye los trabajos presentados en las II Jornadas de Investigación y que superaron la revisión del Comité Organizador.

Las diferentes iniciativas comentadas previamente son parte de un proceso de evolución y revisión continua que tienen como objetivo consolidar y madurar las Jornadas de Investigación, como un evento anual de la Facultad de Ingeniería que permita mostrar parte del quehacer académico que se realiza en las Unidades Académicas y de Investigación.

Se espera que poco a poco aumente el número de participantes y trabajos, que permitan a su vez incrementar los parámetros de revisión, llegando a contar idealmente con evaluación de pares externos para las ponencias y así garantizar una mayor rigurosidad y calidad académica de las presentaciones.

El 2021 es un año especial para la Facultad de Ingeniería; se celebra el 80 aniversario de la primera clase de ingeniería en Costa Rica, así como los 50 años de la creación de la Escuela de Arquitectura y los 40 años de la Escuela de Ciencias de la Computación e Informática.

Al igual que nuestra Facultad y sus Unidades, esperamos poder celebrar en el futuro muchos aniversarios de las Jornadas de Investigación, como evento debidamente consolidado y permanente en el tiempo, que ayude a visibilizar los aportes que se hacen al país y la sociedad costarricense.

Editores del volumen especial:

Dr. Orlando Arrita Orozco
Decano
Facultad de Ingeniería

Dr. Víctor Schmidt Díaz
Director
Instituto de Investigaciones en Ingeniería

M.Sc. Karina Castro Arce
Docente e Investigadora
Escuela de Arquitectura e Instituto de Investigaciones en Ingeniería

ACERCA DE ESTE VOLUMEN ESPECIAL DE LA REVISTA INGENIERÍA

Este Volumen Especial es una memoria del congreso de las II Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Las jornadas se desarrollaron de forma virtual entre los días 10 y 12 de noviembre de 2020. La contribución de resúmenes a este Volumen Especial fue voluntaria por parte de las personas ponentes, por tanto, en este se exponen 53 de 70 ponencias que fueron presentadas durante el evento. Esta memoria compila los resúmenes extendidos de las ponencias en las 10 áreas temáticas que fueron abordadas en las II Jornadas de Investigación.

Descargo revisión de pares

Al tratarse de un Volumen Especial acerca de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, es importante aclarar que a las ponencias presentadas no se les aplicó la evaluación de pares académicos que se estipula en la Revista Ingeniería para artículos científicos.

Todos los resúmenes, ya sea en categoría persona profesora/investigadora o estudiante, fueron valorados por el Comité Organizador de las II Jornadas de Investigación, conformado por representantes de cada una de las unidades académicas que son parte de la Facultad de Ingeniería. La valoración para que las ponencias se consideraran fue, únicamente, una presentación oral de 15 minutos y se utilizaron los siguientes criterios:

1. Presentación de resumen extendido de máximo 1000 palabras.
2. Cumplimiento de formato según el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
3. Tema enmarcado en una de las áreas temáticas definidas para el evento.
4. Originalidad, claridad y precisión en la redacción para su facilidad de comprensión de acuerdo al público multidisciplinar del evento.
5. Síntesis de contenidos: problemática o situación a investigar, métodos, análisis o discusión, resultados.

Descargo imágenes

Es posible que la calidad de las imágenes expuestas en este Volumen Especial no sea la adecuada. En ese sentido se aclara que la contribución es exclusiva responsabilidad de las personas autoras participantes.

Plagio

Se realizó una revisión de los resúmenes aquí expuestos usando la plataforma *Turnitin*. Si el plagio fue detectado en alguno de los textos, las personas editoras invitadas tomaron la decisión de removerlo de este Volumen Especial. Aún así, debe aclararse que los textos son responsabilidad de cada una de las personas autoras y, como se menciona anteriormente, estos textos no pasaron por los filtros rigurosos establecidos para revistas científicas.

ACERCA DE LAS PERSONAS EDITORAS DE ESTE VOLUMEN ESPECIAL

Dr. Orlando Arrieta Orozco

Orlando Arrieta Orozco recibió los títulos de Bachiller y Licenciado en Ingeniería Eléctrica, de la Universidad de Costa Rica, en 2003 y 2006 respectivamente. En 2007 obtiene el grado de Máster en Ingeniería de Sistemas y Automática y en 2010 el de Doctor, ambos por la Universidad Autónoma de Barcelona, España, en el campo de Ingeniería de Control, donde también realiza luego un periodo postdoctoral. En el 2015 obtiene además el grado de Maestría en Administración con énfasis en Gerencia, de la Universidad de Costa Rica. Es profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica e investigador del Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Actualmente es Decano de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Costa Rica.

Dr. Víctor Schmidt Díaz.

Licenciado en Ingeniería Civil por la Universidad de Costa Rica. Máster y Doctor en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural por la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona, España. El doctorado además lo obtuvo con Mención Europea, gracias a una pasantía realizada en el Instituto NORSAR en Noruega. Actualmente es investigador del Laboratorio de Ingeniería Sísmica, docente de grado y del programa de posgrado de la Escuela de Ingeniería Civil. Es el actual director del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

M.Sc. Karina Castro Arce

Arquitecta y planificadora territorial. Realizó estudios de arquitectura en la Universidad de Costa Rica, y cuenta con una maestría en Gerencia de Proyectos de Desarrollo del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP). Egresada de la Maestría en Riesgos, Ciudades y Ordenamiento Territorial con énfasis en Política Pública de la Universidade do Porto, Portugal. Está concluyendo su investigación doctoral en Planificación Territorial y Medio Ambiente, en la Universidad de Groningen, Países Bajos. Es docente en la Escuela de Arquitectura y en el Posgrado de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de la Escuela de Geografía; además es investigadora en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

Tema I
Espacio y servicios públicos:
Infraestructura, uso y calidad

Análisis y mejora para un elevador oscilante

Analysis and improvement for an oscillating lift

María Celeste Rojas Hernández
Estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica
e-mail: mariaceleste.rojas@ucr.ac.cr

Anthony Erasmo Serrano Sánchez
Estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica
e-mail: anthony.serranosanchez@ucr.ac.cr

Juan Gerardo Solís Gatgens
Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica
e-mail: juan.solisgatgens@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Elevador oscilante, fatiga, selección de cojinete, soldadura de filete, infraestructura pública.

I. INTRODUCCIÓN

Problema

Se han implementado múltiples parques biosaludables en muchas áreas del país; sin embargo, las máquinas que los conforman, a causa de las condiciones meteorológicas a las que se encuentran expuestas y al uso al que son sometidas, sufren graves deterioros que pueden atentar contra la seguridad de sus usuarios. Una de las máquinas que comúnmente se encuentra en mal estado es el elevador oscilante (véase Fig. 1), es por este motivo que se analizó desde el punto de vista mecánico esta máquina y se realizaron propuestas para su mejora.



Fig.1. Modelo de elevador oscilante. Elaboración propia.



Fig. 2. Daños en elevador oscilante estudiado. Elaboración propia.

Pregunta de investigación:

¿Cuál es la respuesta ante la fatiga de los elementos más críticos de una máquina de ejercicio tipo elevador oscilante?

II. RESULTADOS

Se escogió para el estudio una máquina ubicada en las instalaciones de la UCR y se observó que la máquina presentaba daños en el sistema que se usa para unir el brazo oscilante con la base fija, el cual permite la rotación de este, como se observa en la Fig.2 . Se desarrollaron varios análisis: soldaduras críticas, resistencia del eje y una selección de un cojinete que permitiera alargar la vida útil.

Se determinó que las soldaduras más críticas en la máquina son las que unen el soporte de la base para los pies con el brazo y la que une el acoplador del eje del brazo con el tubo base. Para los cálculos de soldadura se utilizó una garganta de 1 cm y se tomaron las propiedades del electrodo E601. Se obtuvo que la fuerza máxima que pueden soportar las soldaduras es de 14 703 N y 12 330 N respectivamente. Esta fuerza sobrepasa por mucho la carga máxima propuesta, de 1470 N correspondiente al peso de una persona cuya masa es de 150 kg. Por lo tanto, se concluye que la soldadura resiste bien.

El análisis del eje parte de un modelo donde el eje está fijo en la base por medio de dos puntos y el peso del usuario está uniformemente distribuido a lo largo de la mitad de la base de los pies. La posición angular del brazo determina los esfuerzos generados en el eje ya que, conforme se aumenta el ángulo se genera un torsor que genera un esfuerzo cortante.

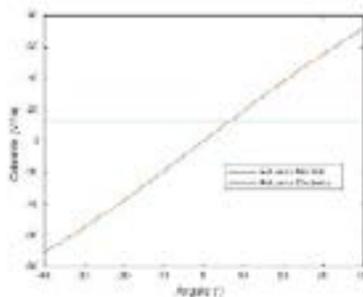


Fig. 3. Esfuerzos en el eje en función del ángulo del brazo para un usuario de 150 kg.

La Fig. 3 se muestra la variación del esfuerzo en el eje con respecto a la posición angular. Como referencia para el ángulo se tomó la línea imaginaria que pasa verticalmente por el brazo cuando la máquina está en reposo.

Para el esfuerzo máximo que debe soportar el eje, considerando un factor de seguridad $n = 2$ y un intervalo de operación seguro de $\theta \in [-40^\circ, 40^\circ]$, el mínimo diámetro permisible es de $d = 38,3$ mm. A pesar de que por razones externas al proyecto la medida exacta del diámetro del eje no se conoce, se estimó que su valor ronda los 40 mm, por lo que el eje del diseño original no fallará para las condiciones planteadas.

La falla por fatiga fue considerada para el eje, sin embargo, los resultados muestran que para la carga escogida, el eje tendrá vida infinita.

Es importante notar que el eje está constantemente sometido a cambios de aceleración bruscos, los cuales generan fuerzas inerciales que no están contempladas en este análisis. Como medida de seguridad se emplea un factor de seguridad de 2. Además, el peso de usuario seleccionado no se alcanzará en la mayoría de los casos durante el uso, lo que favorecerá a la durabilidad de los componentes.

Como parámetro de selección para el cojinete se obtuvo una carga nominal de 4,00 kN. Las limitaciones espaciales del cojinete vienen dadas por el diámetro mínimo del eje (diámetro interno del cojinete) y diámetro interno de la pieza de unión entre el brazo y la base (diámetro externo del cojinete). Con estos parámetros, el cojinete adecuado es el modelo 16008 de Timken, con una carga nominal de 12,60 kN, un diámetro interno de 40 mm y un diámetro externo de 68 mm, que iguala o excede las características requeridas y tiene un precio accesible.

CONCLUSIONES

- El análisis de fatiga para las soldaduras críticas en el brazo y en el eje acoplador indica que las soldaduras no fallan por fatiga.
- Como mejora al diseño se propone sustituir el relleno de la pieza de unión de la base con el brazo oscilante con un cojinete de bolas modelo 16008 Timken.
- La selección del cojinete está limitada principalmente por el espacio físico disponible y no por la carga nominal que este debe soportar.
- Se concluye que económicamente es viable añadir un cojinete al diseño original.

REFERENCIAS

- [1] J. E. Shigley, *Shigley's mechanical engineering design*. Tata McGraw-Hill Education, 2011.

Análisis cinemático de máquinas biosaludables

Kinematic analysis of outdoor fitness equipmen

Ana Lucía Buitrago Méndez
Estudiante, Ingeniería Mecánica
e-mail: ana.buitrago@ucr.ac.cr

Sebastián España Tapia
Estudiante, Ingeniería Mecánica
e-mail: sebastian.espana@ucr.ac.cr

Valeria Pugliese Gallardo
Estudiante, Ingeniería Mecánica
e-mail: valeria.pugliese@ucr.ac.c

Palabras clave:

Máquinas biosaludable, modelo cinemático, columpio, ascensor y elevador.

I. DESCRIPCIÓN GENERAL

El ejercicio físico se ha convertido en una necesidad de la mayoría de personas en nuestra sociedad, por lo que los gobiernos locales realizan esfuerzos para aumentar la accesibilidad de las personas al mismo, especialmente personas sedentarias y adultos mayores. Como resultado, se instalan máquinas biosaludables en los parques comunitarios que permiten trabajar la resistencia, la movilidad y flexibilidad del usuario lo que, permite mejorar la salud y el estado físico de este público. Sin embargo, por simplicidad, estas máquinas trabajan con el peso corporal como base para la resistencia a vencer, sin tener opción de modificar esta carga. Esto hace que para muchas personas, la carga de trabajo sea muy baja y no traiga los beneficios esperados en cuanto a ganancia de fuerza.

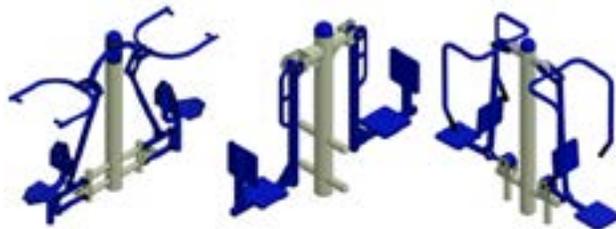


Fig. 1. Modelos de máquinas biosaludables. De izquierda a derecha: ascensor, columpio y elevador. Fuente: Jiménez-Carrano, B. (2020).

Este trabajo está asociado a un proyecto de investigación cuyo objetivo principal es realizar una modificación al diseño de tres máquinas biosaludables que se encuentran en los parques con el fin de aumentar la carga de trabajo a lo largo del rango de movimiento de la máquina. Para realizar una modificación en el diseño de dichas máquinas, se analiza el funcionamiento de los dispositivos ya existentes y disponibles para el público general. De esta forma, surge la interrogante de cómo se mueven las máquinas biosaludables seleccionadas. Esta sección del proyecto busca encontrar una respuesta por medio de la elaboración de un modelo cinemático para cada máquina. Así, se seleccionaron el columpio, el ascensor y el elevador. Estas se pueden observar en la figura 1. Las tres máquinas se usan para realizar ejercicio contra resistencia y permiten trabajar los grupos musculares de las piernas, la espalda y el pecho respectivamente.

II. RESULTADOS

Las máquinas biosaludables son utilizadas por seres humanos, por lo cual no resulta factible generar un modelo donde el mecanismo tiene un movimiento de entrada continuo y con velocidad constante. Consecuentemente, el movimiento de entrada y las posiciones de los centros de masa se describen con ayuda de un ángulo que cambia con el tiempo (ángulo de entrada del movimiento) y cuya variación tiene la forma de una función sinusoidal. De esta forma, se obtiene un comportamiento cíclico en el modelo cinemático, con velocidades iguales a cero al inicio y fin del recorrido, semejante a lo que ocurre en la vida real. Se eligió usar ecuaciones sinusoidales, ya que determinar su derivada es sencillo y estas mantienen sus características trigonométricas. La ecuación 1 representa la ecuación sinusoidal base que se usa para el modelo cinemático de las tres máquinas biosaludables.

$$\theta(t) = A * \text{sen}(\omega t + \phi) + C \quad (1)$$

Donde: A = amplitud (rad); ω = frecuencia angular (rad/s); t = tiempo (s); ϕ = ángulo de fase (rad); C = constante algebraica (rad)

Además de la función de entrada, se deben definir los ángulos, las posiciones y los centros de gravedad de cada uno de los eslabones para las tres máquinas. En la siguiente figura se muestra la configuración de las tres máquinas junto con sus ángulos de interés.



Fig. 2. Diagrama simplificado de cada una de las máquinas. De izquierda a derecha: ascensor, columpio y elevador.

Debido a que los tres mecanismos son diferentes (propriadamente el columpio corresponde a un péndulo, y el elevador y el ascensor corresponden a sistemas de cuatro barras en diferentes posiciones), se plantea un estudio diferente para cada uno de los mecanismos. El Elevador está compuesto por un mecanismo de cuatro barras de configuración abierta en posición vertical como lo muestra la figura 2. A partir del diagrama mostrado en la figura 2 se pueden generar diferentes ecuaciones que permiten conocer las posiciones, velocidades y aceleraciones de los mecanismos. Los resultados de este análisis se presentan en la figura 3.

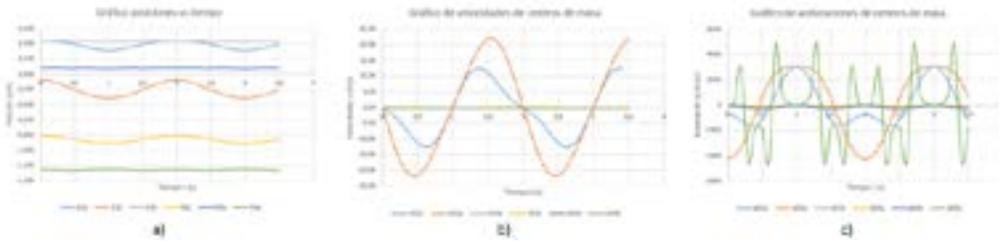


Fig. 3. Resultados del análisis cinemático para: a) posiciones, b) velocidades, c) aceleraciones para el mecanismo del elevador. Fuente: Elaboración propia (2020).

El Ascensor se estará analizando como un mecanismo de 4 barras de configuración cerrada en posición vertical con un desfase de 5° con respecto a la vertical. En este caso interesa conocer la cinemática de los centros de gravedad de los tres eslabones los cuales se representan en la figura 2. Se realiza un análisis de posiciones, velocidades y aceleraciones del mecanismo. De esta manera, todas las variables dependen del ángulo de entrada descrito en la ecuación 1. En la figura 4 se muestra una representación gráfica de los resultados de dicho análisis.

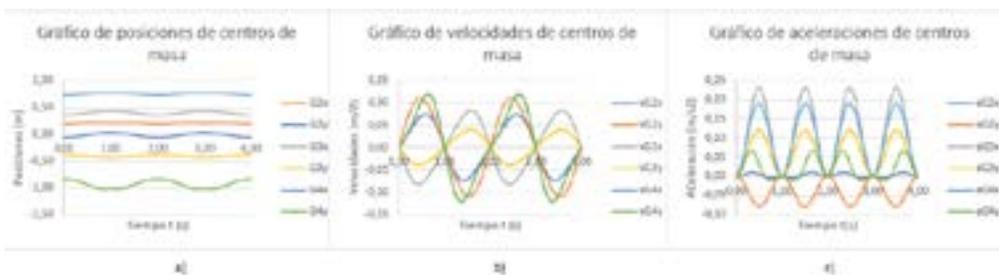


Fig. 4. Resultados del análisis cinemático para: a) posiciones, b) velocidades, c) aceleraciones - para el mecanismo de ascensor. Fuente: Elaboración propia (2020).

El Columpio es un mecanismo con movimiento rotacional puro, donde interesa conocer el movimiento que describe el centro de masa G de la silla que se mueve respecto al pivote D de la estructura como se muestra en la figura 2. Una vez que se determinó la ecuación sinusoidal que describe la variación de $\theta(t)$, se pueden encontrar las ecuaciones que describen la velocidad y la aceleración del centro de masa G de la silla. Los resultados de este análisis se muestran en la figura 5.

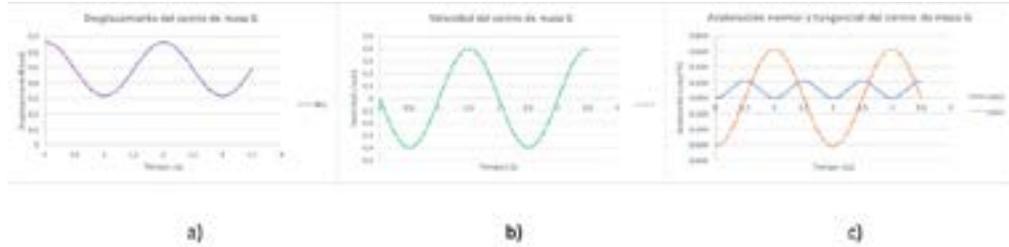


Fig. 5. Resultados del análisis cinemático para: a) posición, b) velocidad, c) aceleración del mecanismo del columpio.

CONCLUSIONES

Realizar un análisis cinemático es de gran interés ya que es la base para desarrollos posteriores, por ejemplo, el análisis cinético. Al tener un movimiento de entrada cuya variación es de tipo sinusoidal, es de esperar que las partes del mecanismo presenten ese mismo patrón. Esto se debe a que todas las variables son dependientes del ángulo inicial. En las figuras 3, 4 y 5 se puede observar el comportamiento periódico tanto de la velocidad como de la aceleración.

Una vez que se conoce la aceleración del centro de gravedad de cada uno de los eslabones, es posible realizar un análisis cinético posterior. El análisis cinemático es solo un paso para la caracterización del movimiento de los mecanismos. Concluida esta investigación, se espera tener un análisis cinemático, cinético y antropométrico de cada máquina para así generar diseños a partir de los mismos.

Propuesta de conexión al alcantarillado sanitario para dos asentamientos informales en la Gran Área Metropolitana

Proposal for connection to the sanitary sewer for two informal settlements in the Great Metropolitan Area

Farlin Dionisio Valverde Piedra

Graduado de la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

e-mail: valverdepiedra@hotmail.com

Palabras clave:

Alcantarillado sanitario simplificado, Asentamiento informal, Diseño preliminar, Preselección, Selección final, Barrio San José, Miravalles.

I. PROBLEMA

Los asentamientos informales se definen según el Instituto Nacional de Estadística y Censo [1] como el producto de las llamadas “tomas de tierra”, organizadas o no, donde unos más que otros, con el tiempo logran mejores condiciones en la infraestructura de la vivienda y el acceso a los servicios. Debido a estas condiciones irregulares es que estas comunidades tienden a presentar mayores carencias en el acceso a un albergue digno, vida saludable, conocimiento y a los bienes y servicios, según Mora [2].

Para el 2011, el 70,9% de las viviendas en asentamientos informales utilizaban el tanque séptico con zona de drenaje como medio para la descarga de aguas residuales según [1]. Este sistema de saneamiento extendido sumado a las condiciones precarias e irregulares en infraestructura, representa un problema a la salud y al ambiente, principalmente en las zonas urbanas donde se tiene un limitado espacio a la propiedad y una mayor densidad poblacional; por lo que esta condición aporta a la existencia de necesidades básicas insatisfechas.

Recuperar los asentamientos informales e integrarlos al resto de la ciudad involucra un mejoramiento en varias aristas, entre ellas el saneamiento. Podría aprovecharse infraestructura sanitaria existente en las comunidades alrededor de los asentamientos informales junto con un sistema de saneamiento colectivo propio, siempre y cuando, estos puedan permanecer en el sitio ocupado.

II. OBJETIVO

Proponer un diseño preliminar de una red terciaria con conexión a un alcantarillado sanitario, en los asentamientos informales que presenten condiciones para su consolidación mediante un proceso de priorización y selección en la Gran Área Metropolitana (GAM).

III. RESULTADOS

Mediante un proceso de priorización y selección, entre los asentamientos informales de la GAM, se determina que 55 de 158 asentamientos son posibles candidatos para permanecer en el sitio que ocupan y desarrollar un sistema de saneamiento colectivo en ellos. Este proceso valora la localización de los asentamientos informales, por ejemplo, en Áreas Silvestres Protegidas, zonas de riesgo por amenaza natural o proximidad a sistemas de saneamiento colectivo; también valora características como una reducida proporción de tugurios, aceptable seguridad ciudadana o empleo cercano a la comunidad. La Tabla I muestra los 10 asentamientos mejor evaluados.

Tabla I. Mejores asentamientos informales para intervenir con un alcantarillado sanitario.

Prioridad	Asentamiento (cantón)	Prioridad	Asentamiento (cantón)
1	Barrio San José (Curridabat)	6	El Bambú (Alajuela)
2	Urb. Los Cipreses (Coronado)	7	Urb. Europa (Curridabat)
3	Sector 6 Los Guido (Desamparados)	8	San Martín II (Coronado)
4	Ponderosa 1/ El Higuero (Curridabat)	9	Sector 7 Los Guido (Desamparados)
5	15 de agosto (Curridabat)	10	Sector 1 Los Guido (Desamparados)

Se seleccionan Barrio San José, en el distrito y cantón de Curridabat, y Miravalles, en el distrito de Tirras del cantón de Curridabat, para implementar un diseño preliminar. Miravalles resulta ser una excepción al proceso de selección debido al gran interés del Gobierno Local en esta comunidad, no obstante, este asentamiento sí está dentro de los 55 asentamientos considerados como candidatos para considerar un alcantarillado sanitario.

En ambas comunidades seleccionadas se realiza un diseño preliminar de alcantarillado sanitario con conexión al sistema del Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José, en donde es requerido un sistema de bombeo en Barrio San José mientras que en Miravalles el sistema funcionaría por gravedad. Además, el limitado espacio en ambos asentamientos hace que se consideren los pozos de registro simplificados junto con el sistema convencional de alcantarillado sanitario de la Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) en el diseño preliminar. En la Fig. 1 se muestra la distribución del sistema diseñado en Miravalles mientras que en la Fig. 2, el correspondiente a Barrio San José.

CONCLUSIONES

En la GAM se considera que hay 55 asentamientos informales que podrían mantenerse en el lugar ocupado para su consolidación y posible intervención para brindar el servicio de saneamiento.

Las condiciones de Barrio San José y Miravalles no permiten que se desarrollen los sistemas convencionales de saneamiento colectivo que se indican en la normativa técnica de diseño del

AyA y se deben considerar elementos no convencionales, específicamente pozos de registro simplificados, para lograr el desarrollo del servicio de saneamiento.



Fig. 1. Mapa de Miravalles en escala 1:900 con pozos y tuberías identificados.



Fig. 2. Mapa de Barrio San José en escala 1:1000 con pozos y tuberías identificados.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), “Ficha Metodológica” en X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda: Principales indicadores sobre asentamientos informales, San José, Costa Rica, 2013, pp. 7-24. [en línea]. Disponible en https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/estadisticas/resultados/repobrezacenso2011-01.pdf.pdf
- [2] S. Mora, “Hogares en asentamientos informales en Costa Rica: quiénes son y cómo viven”, Notas de Población, vol. 41, no. 99, pp. 107-132, diciembre, 2014. [en línea]. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37635-hogares-asentamientos-informales-costa-rica-quienes-son-como-viven>

Determinación de los factores camión para pavimentos rígidos de Costa Rica en el período 2007-2017

Determination of truck factors for rigid pavements in Costa Rica in the period 2007-2017

Ing. Jaime Allen Monge, PhD

*Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte, PITRA-LanammeUCR
e-mail: jaime.allenmonge@ucr.ac.cr*

Ing. Eliécer Arias Barrantes, MSc

*Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte, PITRA-LanammeUCR
e-mail: eliecer.arias@ucr.ac.cr*

Allan Ureña Bermúdez

*Asist. Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte, PITRA-LanammeUCR
e-mail: allan.urena@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Camión, confiabilidad, factor, LEF, pavimentos rígidos.

I. INTRODUCCIÓN

El factor camión es uno de los componentes principales en la estimación de la demanda de cargas que tendrá el pavimento de una carretera. El factor camión es un indicador del daño que produce una carga en el pavimento. Contar con factores camión confiables, actualizados y que se ajusten a las necesidades de carga del país es de suma importancia durante la etapa de diseño, para que se logre un adecuado aprovechamiento de la vida útil de las estructuras de pavimentos rígidos.

El objetivo general de la investigación es determinar factores camión para diseño de pavimentos rígidos acordes con la realidad nacional, a partir de los registros de carga obtenidos por medio proyectos de graduación, estaciones de pesaje y encuestas de carga. Para cumplir con el objetivo general, se recopiló y analizó las bases de datos sobre pesajes registrados entre los años 2007 y 2017 por el LanammeUCR y el MOPT, donde se contó con más de 15 millones de vehículos pesados, distribuidos en diferentes rutas del país [1].

Para obtener valores recomendados de los factores camión para diseño de pavimento rígidos se siguió la metodología que se muestra en la Fig. 1. En la primera etapa se recopilaron las bases de datos disponibles [2] y se calcularon los valores de factores camión, luego se analizaron según la cantidad de vehículos y se revisó la variación interanual de los datos. Adicionalmente, se realizó

un análisis estadístico de los datos y se calcularon los valores de factores camión para diferentes niveles de confianza que posteriormente se comparan con los valores utilizados actualmente por la Administración para pavimentos flexibles. Finalmente se presentan los factores camión recomendados para los diferentes niveles de confianza y tipos de vehículos.

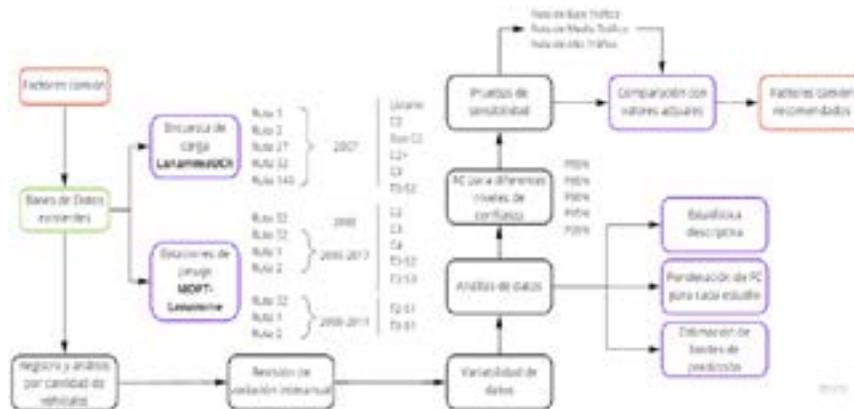


Fig. 1. Esquema metodológico del informe [1].

II. RESULTADOS

Los resultados se basan en el análisis de 15 661 601 vehículos que brinda una cantidad de datos robusta para hacer estimaciones de variabilidad, así como de niveles de confianza. Los vehículos analizados se clasifican en las siguientes ocho categorías: pick-up, C2, Bus C2, C2+, C3, C4, T3-S2, y T3-S3, en cuatro rutas nacionales.

Se realizó una muestra de cálculo que ejemplifica y compara el cálculo de los factores camión para pavimentos rígidos y flexibles para los vehículos C3, C4, T3-S2 y T3-S3. En la Tabla I se muestra un extracto de los resultados obtenidos para las muestras de cálculo de los vehículos antes mencionados.

Tabla I. Muestra de cálculo de FC rígidos y flexibles para vehículos T3-S2 y T3-S3.

Tipo de pavimento	Pavimento flexible			Pavimento rígido		
	Vehículo tipo T3-S2					
Tipo de vehículo						
Tipo de eje						
Peso del eje (Ton)	3,87	14,45	13,81	3,87	14,45	13,81
Factor equivalente de carga (LEF)	0,04	0,84	0,70	0,04	1,48	1,22
Factor camión (FC)		1,58			2,74	

Para obtener los valores de factor camión se realizó el cálculo de los factores equivalentes de carga (LEF) para cada eje de los vehículos registrados en las bases de datos utilizadas, estos factores LEF fueron obtenidos a través de una herramienta de cómputo propia que permitió calcular valores de factores camión asociados con alta precisión. Una vez determinados los factores LEF se obtuvieron los factores camión que permiten conocer el daño que los ejes de cada vehículo le generan al pavimento a través de la siguiente fórmula:

$$FC \text{ promedio} = \frac{[\Sigma(\text{número de ejes} \cdot LEF)]}{\text{Número de vehículos encuestados}} \quad (1)$$

CONCLUSIONES

Dada la necesidad de disponer de factores camión para pavimentos rígidos que consideren la realidad nacional, se generaron factores camión para pavimentos rígidos asociados a un nivel de confiabilidad específico. Se presenta, en la Tabla II, un resumen de los factores camión estimados (2007-2017) para diferentes niveles de confianza y una comparación respecto a los valores máximos y mínimos que propone el MOPT (para pavimentos flexibles).

Tabla II. Resumen de los FC estimados (207-2017) y valores utilizados por el MOPT.

Vehículo	Factor Camión para pavimentos rígidos propuesto para diferentes niveles de confianza					Valores MOPT para pavimentos flexibles		
	80%	85%	90%	95%	99%	Mínimo MOPT	Máximo MOPT	Promedio
Pickup	0,013	0,014	0,014	0,015	0,017	0,010	0,020	0,010
C2	0,374	0,426	0,491	0,587	0,768	0,260	0,630	0,470
Bus C2	3,214	3,408	3,652	4,014	4,692	1,250	2,290	1,710
C2+	0,183	0,216	0,257	0,318	0,432	0,010	0,070	0,026
C3	0,887	0,926	0,976	1,050	1,189	0,990	1,280	1,100
C4	2,220	2,369	2,557	2,836	3,358	-	-	-
T3-S2	3,177	3,500	3,906	4,507	5,636	1,510	2,380	1,710
T3-S3	3,501	3,666	3,873	4,181	4,757	-	-	-

Los factores camión determinados en la investigación, contemplan la variabilidad interanual que existe actualmente y ponderan dichos factores camión dando mayor peso a los factores estimados a partir de una mayor cantidad de vehículos. Además, se determinó que, según los valores históricos, todavía no existe una clara estabilización del factor camión para pavimentos rígidos en algunas rutas del país.

Los valores de factores camión son los primeros obtenidos en materia de pavimentos rígidos, a nivel nacional, los mismos capturan el comportamiento dinámico de los factores camión para pavimentos rígidos desde el año 2007 hasta el año 2017.

REFERENCIAS

- [1] Allen, J., Arias, E., & Vargas, C. (2020). *Determinación de los factores camión asociados a encuestas de carga y estaciones de pesaje en Costa Rica en el período 2007-2017*. San José, Costa Rica: Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte, LanammeUCR.
- [2] Allen, J. (2014). *Determinación de los factores camión promedio en las estaciones de pesaje*.

Evaluación del desempeño técnico y administrativo, y plan de mejoramiento para un acueducto pequeño

Evaluation of the technical and administrative performance, and improvement plan for a small aqueduct

*Ing. Tatiana Fernández Jiménez
Egresada, Escuela de Ingeniería Civil
e-mail: tatiferandezj21@gmail.com*

Palabras clave:

Asada, calidad de agua, desempeño administrativo, Pedernal de Puriscal, sistema de distribución de agua potable.

I. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, por ley, el agua es un bien de utilidad pública y el consumo humano tiene prioridad ante otros usos. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) es el ente rector en materia de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, para lograr el objetivo de llevar agua en calidad, cantidad y continuidad adecuados a toda la población ha tenido que delegar parte de su responsabilidad a las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS), que son asociaciones sin fines de lucro que deben operar y administrar los sistemas de abastecimiento, así como velar por conservar los recursos. Para el año 2018 eran poco más de 1500 ASADAS las que brindaban el servicio a alrededor de 1.6 millones de habitantes (aproximadamente 32.4% de la población del país) según indica el AyA (2019) [1].

El AyA tiene la obligación de darles acompañamiento y asesoría para que logren cumplir con sus objetivos, más considerando que muchas ASADAS trabajan con recursos y conocimientos limitados. Sin embargo, reciben la asesoría cuando se presentan problemas, tal y como lo indica Pacheco [2]. Esto en parte se debe a que el Instituto cuenta con recursos limitados para atender todas sus necesidades (en el 2019 se atendieron 6475 solicitudes de distintos tipos [3]). Esta situación ha llevado a que muchas de las pequeñas no cuenten con información importante para tener control sobre su funcionamiento, con frecuencia las tarifas cobradas solo les permiten cubrir los gastos básicos, mas no contratar a especialistas que les ayuden con el manejo del acueducto tanto administrativo como técnico.

Un caso de esto es la ASADA de Pedernal de Puriscal. Esta se creó como la transformación del CAAR comunal a una ASADA, que se encarga de administrar y operar el acueducto, para el 2019 abastecía cerca de 152 abonados, por lo que se puede considerar como una ASADA

pequeña. Uno de sus principales problemas es la carencia de información: al momento de iniciar la investigación no se contaba con planos o esquemas del sistema, ningún tipo de base de datos o respaldo de la información. Además, se identificaron carencias de conocimiento para la administración y operación del sistema, por lo que la inversión de los pocos recursos con que cuenta no se estaba dando de forma óptima.

II. METODOLOGÍA PARA DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL SISTEMA.

A. Sistema e infraestructura

Dada la carencia de información que presentó la ASADA de Pedernal, se debió realizar un proceso de elaboración de catastro de usuarios, de la infraestructura del acueducto y caracterización de los distintos elementos. Durante este proceso se evidenció la falta de mantenimiento periódico a las obras de captación y a los tanques. Además, se identificaron problemas de continuidad en el servicio, no cumplimiento con los requerimientos de concentración de cloro y presencia de coliformes fecales, no cumplimiento con los diámetros mínimos definidos en las normas y alta presión en un sector del sistema, entre otros.

B. Desempeño administrativo

Partiendo de la información obtenida a través de entrevistas realizadas a la Junta Directiva, se supo que esta se encarga del proceso administrativo y operativo, se carece de personal calificado para desarrollar dichas labores. Eso ha llevado a que se tengan deficiencias significativas, lo cual quedó en evidencia al aplicar una serie de matrices de cumplimiento legislativo donde se evaluaron aspectos establecidos en la legislación y normativa vigente en el país. Los aspectos se agrupan en tres áreas: administrativa (47 aspectos), técnico-operativa (70 aspectos) y calidad de agua potable (14 aspectos), para un total de 131. Cada uno de esos aspectos se clasificó según su nivel de cumplimiento en satisfactorio (CS), intermedio (CI), básico (CB) o no cumplimiento (NC). Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 1.

Tal y como se puede observar en la Fig. 1, la ASADA de Pedernal, está cumpliendo satisfactoriamente la legislación en tan solo un 19% de los aspectos evaluados y no cumple del todo en el más del 45% de ellos. Además, el tema de calidad de agua potable resulta ser crítico ya que el no cumplimiento supera el 64% de los aspectos considerados.

III. RESULTADOS: PROPUESTAS DE MEJORA.

Con base en el diagnóstico realizado, se procedió a definir los elementos prioritarios que deben recibir atención. La propuesta se presentó para cada uno en forma esquemática, definiendo un área de intervención, un plazo, descripción de la actividad y su objetivo y un posible procedimiento para llevarla a cabo. En primer lugar, se dan recomendaciones para mejoras en

infraestructura como el reacondicionamiento y protección de las captaciones, construcción de tanque quebra-gradiente y gestión de hidrantes. En segundo lugar, se consideran mejoras para la calidad del agua y desinfección, donde la principal recomendación es empezar a cumplir con estipulado en el Reglamento de Calidad de Agua Potable. Como tercera área de intervención está la protección de las fuentes, donde se recomienda realizar aforos constantemente y delimitar y conservar las áreas de recarga. Finalmente se dan recomendaciones para mejorar el proceso administrativo y gestión comunal, tales como contratar personal capacitado y propiciar la participación de la comunidad en los procesos de la ASADA.

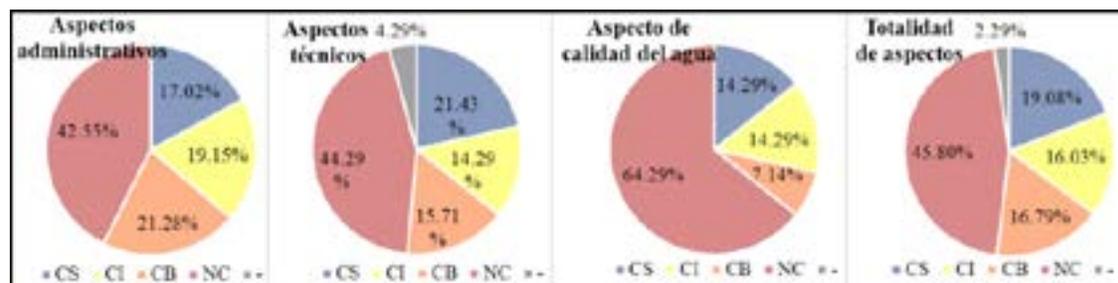


Fig. 1. Resultados de las matrices de cumplimiento legislativo.

CONCLUSIONES.

El acueducto de la ASADA de Pedernal se construyó de forma empírica, es decir, no se consideraron aspectos técnicos de forma adecuada, ni se elaboró ningún tipo de diseño. Por lo tanto, se encontró que presenta problemas hidráulicos como altas presiones y no cumplimiento con los tamaños mínimos de diámetro. Además, a los distintos elementos no se les da el adecuado mantenimiento por lo cual su estado no resulta ser óptimo para el abastecimiento de agua potable.

Por otra parte, la ASADA carece de cualquier tipo de registro de datos que pueda orientar de forma adecuada la toma de decisiones de inversión, por lo que la misma se hace según lo que considere adecuado la Junta Directiva, que además carece de criterio técnico para la toma de decisiones, esto ha llevado a que tenga un bajo nivel de cumplimiento adecuado de la legislación.

Es por lo anterior, que la ASADA de Pedernal necesariamente debe iniciar un proceso de recopilación ordenado de la información, que permita definir un plan de inversión elaborado por profesionales con el criterio técnico y administrativo adecuados, que permita mejorar el desempeño y brindar un servicio de calidad a la comunidad. Para ello, la intervención del AyA es vital.

REFERENCIAS.

- [1] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). *Agua para consumo humano por provincias y saneamiento por Regiones manejados en forma segura en zonas urbanas y Rurales de costa rica al 2018* [Internet]. Disponible en <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20>

agua%20potable%20y%20saneamiento%202019%20-%20Laboratorio%20Nacional%20de%20Aguas.pdf.

- [2] F. Pacheco. (2017). *Inconcebible maltrato a las Asadas* [Internet]. Disponible en <https://www.elpais.cr/2017/03/18/inconcebible-maltrato-a-las-asadas/>.
- [3] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2020). *Informe de la Gestión Realizada en la Atención y el Fortalecimiento de las ASADAS* [Internet]. Disponible en <https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%202019%20-%20UEN%20Gestion%20ASADAS.pdf>.

Tema II
Automatización e interacción
humano-tecnologías, Inteligencia
artificial e internet de las cosas (IoT)

Diseño de un controlador PI inmune óptimo

Mercedes Chacón Vásquez
Profesora. Escuela de Ingeniería Eléctrica
e-mail: mercedes.chaconvasquez@ucr.ac.c

Raúl Brenes Astorga
Estudiante. Escuela de Ingeniería Eléctrica
e-mail: jose.brenesastorga@ucr.ac.cr

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un nuevo método de diseño de control PI con un algoritmo inmune para sistemas realimentados. El uso de sistemas de control realimentado con algoritmos de control PID sigue siendo por mucho, el paradigma más utilizado en el control tanto en industria como en miles de aplicaciones de la vida cotidiana.

Sin embargo, conforme los procesos se modernizan se presentan características cada vez más complejas para controlar. Por ejemplo, cuando se actualiza una planta con sensores inalámbricos, se introducen en el sistema retrasos largos que varían aleatoriamente. Esto puede disminuir el rendimiento del sistema o inclusive hacerlo inestable. Para resolver este problema se han propuesto métodos de control complejos como el control predictivo o control inmune, los cuales han demostrado funcionar efectivamente. La propuesta de este trabajo es diseñar un algoritmo inmune basado en el aporte de [1], con la estructura de un controlador más simple y flexible como el PI.

II. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad existe un paradigma cotidiano de conectar individuos y sistemas para mejorar el funcionamiento de los servicios y productos que gozamos. En este sentido, el área de sistemas de control no es la excepción y ha adoptado nuevos requerimientos de utilizar sistemas móviles y comunicaciones inalámbricas, para trasegar la información. Sin embargo, a este costo también se incluyen problemas intrínsecos de la red de comunicación como lo son pérdidas de información o retrasos. Esto implica problemas de desempeño, confiabilidad y/o estabilidad. Por ello, se ha incursionado en compensar estas pérdidas con algoritmos complejos como el control predictivo, difuso, óptimo, adaptativo, inmune, entre otros. En este trabajo se desea plantear una solución que requiera menos cálculo computacional, haciéndolo así atractivo para implementarlo en aplicaciones, y que al mismo tiempo posea características óptimas que permitan un control efectivo

En la actualidad existe un paradigma cotidiano de conectar individuos y sistemas para mejorar el funcionamiento de los servicios y productos que gozamos. En este sentido, el área de sistemas de control no es la excepción y ha adoptado nuevos requerimientos de utilizar sistemas móviles

y comunicaciones inalámbricas, para trasegar la información. Sin embargo, a este costo también se incluyen problemas intrínsecos de la red de comunicación como lo son retrasos. Esto conlleva a problemas de desempeño, confiabilidad y/o estabilidad. En este trabajo se desea plantear una solución que compense retrasos, requiera menos cálculo computacional, haciéndolo así atractivo para implementarlo en aplicaciones, y que al mismo tiempo posea características óptimas que permitan un control efectivo. Es por ello que se propone implementar un control PI inmune óptimo, simple y con buen rendimiento. A continuación se expone la implementación de cada uno de estos aspectos.

Control Inmune

Sistemas que emplean el algoritmo inmune han sido aplicados en años recientes a procesos modernos que presentan características complejas como largos retrasos y retrasos variables [2]. Esta metodología muestra una buena robustez y adaptabilidad cuando es combinada con teoría difusa en aplicaciones de control de temperatura y de aceleración como lo muestran [3] y [4], respectivamente. Más ejemplos de aplicaciones del algoritmo inmune en control de procesos son [5], [6], [7], [8], [9]. En estas, el algoritmo se ha combinado exitosamente con procesos de optimización multiobjetivo, algoritmos genéticos, y probado en plantas de energía.

El sistema de control inmune es una acción fisiológica que produce anticuerpos para combatir antígenos. Los componentes primarios del sistema son las células de reconocimiento y las células asesinas. Cuando el antígeno aparece, las células de reconocimiento comienzan a multiplicarse al mismo tiempo que se activan las células ayudantes T (TH). Luego las células T activan células B, las cuales secretan los anticuerpos. La célula presentadora de antígeno (APC) también puede activar las células T supresoras (TS), las cuales suprimen la secreción de células TH y células B.

Es posible generalizar que el algoritmo inmune está basado en un principio de regulación por medio de realimentación, el cual es el principio de regulación de las células T. El principio es definido por el número de antígenos o la concentración de los mismos, $\varepsilon(k)$ en la k -ésima generación:

$$\varepsilon(k) = \gamma\varepsilon(k-1) - u_{kill}(k-d) \quad (1)$$

Donde γ es el factor de proliferación de sustancia externa, u_{kill} es la concentración de células B y d es el intervalo postmortem o el retraso de la respuesta inmunológica. La concentración de las células B puede ser expresada como:

$$u_{kill}(k) = TH(k) - TS(k) \quad (2)$$

Donde $TS(k)$ es el efecto de las células TS en las células B y $TH(k)$ es la salida TH estimulada por los antígenos:

$$TH(k) = K_1 \varepsilon(k) \quad (3)$$

Optimización

El trabajo propone un método de sintonización para controladores PI de tiempo discreto donde la ganancia del controlador se obtiene al resolver un problema de optimización que minimiza el criterio de costo ITAE. La ventaja del método propuesto es que la complejidad del cálculo es reducida de manera significativa.

El controlador es implementado usando una estructura PID paralelo de tiempo discreto:

$$u(k) = K_p e(k) + i(k-1) + K_i T_s e(k) \quad (4)$$

Donde K_p , K_i son la ganancia proporcional e integral respectivamente. $u(k)$ es la señal de control y $e(k)$ la señal de error. Es usado un tiempo de muestreo T_s , $y(k)$ es la señal del proceso, $i(k)$ es la acción integral y $(k-1)$ denota el valor pasado de la señal.

$$\begin{aligned} \min f(x) &= \int_0^{\infty} t|r(t) - y(t, x)|dt \\ \text{s.t. } h(x) &= \begin{cases} -x + \varepsilon \leq 0 \\ J_{ITAE} - J_0 - \varepsilon \leq 0 \end{cases} \\ x &= [K_p \quad K_i]^T \in \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (5)$$

La función de minimización de costo J escogida es *ITAE*. La cual corresponde a la sumatoria de los valores de error absoluto multiplicado por el tiempo. Para las restricciones, primeramente; los parámetros deben ser positivos. Segundo, el valor de η está restringido a el intervalo $[0, 10]$.

III. RESULTADOS ÓPTIMOS

El problema de optimización es resuelto para un amplio rango de valores de τ_0 , específicamente para el rango $[0.1 - 1.7]$, intentando cubrir la mayor cantidad de procesos posibles. El número máximo de evaluaciones de la función e iteraciones es de 40 y 10000 respectivamente. El tiempo de muestreo es $T_s = 0.01$ s. El *Optimisation Toolbox* de Matlab es utilizado.

Reglas de sintonización

Posteriormente, se plantearon diversos modelos matemáticos que se ajustaran a las tendencias de los puntos óptimos encontrados para cada uno de los parámetros utilizando el Curve Fitting Toolbox de Matlab, y así obtener las reglas de sintonización del controlador inmune. De esta manera, se obtuvieron las ecuaciones polinomiales de hasta quinto orden que se muestran en (3)-(7).

Se puede observar en las figuras 1a-2c una buena exactitud del modelo al replicar la tendencia de los puntos, por lo tanto se tiene una buena aproximación de los parámetros óptimos.

VI. REGLAS DE SINTONIZACIÓN

Una vez que se resolvió el problema de optimización (5) se encontraron los resultados óptimos para cada parámetro del controlador y tiempo de retraso. Luego, se procedió a realizar curvas de ajuste para encontrar una serie de reglas de sintonización, que pudieran ser utilizadas fácilmente para diseñar los controladores. Las curvas que se aproximaron con ecuaciones de relaciones polinomiales de hasta quinto orden, se muestran a continuación.

$$\begin{aligned}
 K_p &= k \cdot K_p = -0,827 \cdot \tau_0^4 + 3,316 \cdot \tau_0^3 - 3,637 \cdot \tau_0^2 - 0,2753 \cdot \tau_0 + 1,87 \\
 T_i &= \frac{T_i}{T'} = \frac{0,5442 \cdot \tau_0^2 - 0,4473 \cdot \tau_0 + 0,09204}{\tau_0^5 - 3,722 \cdot \tau_0^4 + 4,797 \cdot \tau_0^3 - 1,905 \cdot \tau_0^2 - 0,0414 \cdot \tau_0 + 0,09949} \\
 a &= \frac{1,546 \times 10^4 \cdot \tau_0^3 - 3,315 \times 10^4 \cdot \tau_0^2 + 2,614 \times 10^4 \cdot \tau_0 - 2222}{\tau_0^5 - 4,436 \times 10^4 \cdot \tau_0^4 - 1,173 \times 10^5 \cdot \tau_0^3 + 9,599 \times 10^4 \cdot \tau_0^2 - 2,009 \times 10^4 \cdot \tau_0 + 1459} \\
 \eta &= \frac{-0,2355 \cdot \tau_0^4 + 1,861 \cdot \tau_0^3 - 4,624 \cdot \tau_0^2 + 3,993 \cdot \tau_0 - 0,5961}{\tau_0^3 - 3,414 \cdot \tau_0^2 + 3,161 \cdot \tau_0 - 0,3856} \\
 K &= \frac{-1,113 \cdot \tau_0^3 + 3,61 \cdot \tau_0^2 - 3,348 \cdot \tau_0 + 0,915}{\tau_0^5 - 5,175 \cdot \tau_0^4 + 9,106 \cdot \tau_0^3 - 6,059 \cdot \tau_0^2 + 0,9807 \cdot \tau_0 + 0,2015}
 \end{aligned} \tag{6}$$

VI. EJEMPLOS NUMÉRICOS

El método es puesto a prueba para un proceso de ganancia unitaria y $\tau_0 = 0.1$. La figura 1 muestra la respuesta a lazo cerrado del sistema. Los resultados óptimos son: $K_p = 0.28$, $T_i = 0.28$ s, $a = 6.47$, $\eta = 6.53$ y $K = 0.33$. La simulación muestra que la acción del controlador PID inmune óptimo lleva suavemente al sistema a su valor de referencia con poco sobrepaso. Además rechaza la perturbación aplicada en $t = 15$ s. Las mediciones de índices de error arrojan los valores de ITAE para servocontrol y regulador de $J_r = 3.029$ y $J_d = 28.84$, respectivamente.

CONCLUSIONES

Un problema de optimización es propuesto para encontrar los parámetros del controlador PI inmune óptimo, y la efectividad y buen desempeño del diseño son demostradas a través de

simulaciones. Los resultados muestran una rápida respuesta con una pequeña oscilación. Además, la recuperación del sistema ante la perturbación también es rápida.

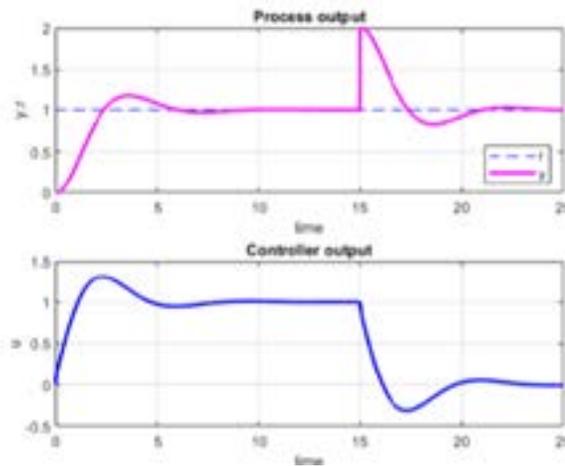


Fig. 1. Salidas del sistema para control PID inmune óptimo.

REFERENCIAS

- [1] P. Yang, H. Zhao, Y. Zhou, and Z. Liu, "Study of immune pid-pi controller for fg-3000 temperature control system," in *2007 IEEE International Conference on Integration Technology*, March 2007, pp. 343–347.
- [2] D. Peng, H. Zhang, C. Huang, J. Lin, and H. Li, "Study of Immune PID Networked Control System Based on TrueTime," *Journal of Networks*, vol. 6, pp. 912–915, 2011.
- [3] Y. Xue and Z. J. Yan, "Research on rbf tuning pid and fuzzy immune control system of superheat temperature," in *Natural Computation (ICNC), 2010 Sixth International Conference on*, vol. 7, Aug 2010, pp. 3528–3531.
- [4] L. Chen and R. Chen, "A fuzzy immune pid controller for electronic throttle," in *Computational Intelligence and Design, 2009. ISCID '09. Second International Symposium on*, vol. 1, Dec 2009, pp. 72–75.
- [5] W. Wang, X. Z. Gao, and C. Wang, "A new immune pid controller in material-level control," in *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, vol. 3, 2007, pp. 614–618.
- [6] J. Wang, C. Zhang, and Y. Jing, "Fuzzy immune self-tuning pid control of hvac system," in *2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2008, pp. 678–683.
- [7] T. Tashan, E. Karam, and E. Mohsin, "Immune pid controller based on differential evolution algorithm for heart rate regulation," *International Journal of Advanced Computer Research*, vol. 9, pp. 177–185, 05 2019.
- [8] M. Khoie, K. Salahshoor, E. Nouri, and A. K. Sedigh, "Pid controller tuning using multiobjective optimization based on fused genetic-immune algorithm and immune feedback mechanism," in *Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Artificial Intelligence*, D.-S. Huang, Y. Gan, P. Gupta, and M. M. Gromiha, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 267–276.

- [9] Dong Hwa Kim and Jae Hoon Cho, “Intelligent tuning of pid controller with disturbance function using immune algorithm,” in *2004 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications*, 2004. CIMSAA., 2004, pp. 109–114.
- [10] Dong Hwa Kim, “Tuning of 2-dof pid controller by immune algorithm,” in *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation. CEC’02* (Cat. No.02TH8600), vol. 1, 2002, pp. 675–680 vol.1.
- [11]. Dong Hwa Kim, Won Pyo Hong, and Jin ILL Park, “Auto-tuning of reference model based pid controller using immune algorithm,” in *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation. CEC’02* (Cat. No.02TH8600), vol. 1, 2002, pp. 483–488 vol.1.
- [12] Dong Hwa Kim, “Comparison of pid controller tuning of power plant using immune and genetic algorithms,” in *The 3rd International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies*, 2003., 2003, pp. 169–174.
- [13] D. H. Kim, “Tuning of pid controller using gain/phase margin and immune algorithm,” in *Proceedings of the 2005 IEEE Midnight-Summer Workshop on Soft Computing in Industrial Applications*, 2005. SMCia/05., 2005, pp. 69–74.

Implementación de un controlador DMC para una columna de destilación binaria

A DMC controller implementation for a binary distillation column

Elena Villalobos Herra
Estudiante, Escuela Ingeniería Eléctrica
e-mail: elena.villalobos@ucr.ac.cr

Mercedes Chacón Vásquez
Profesora, Escuela Ingeniería Eléctrica
e-mail: mercedes.chaconvasquez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Columna de destilación, Control por Matriz Dinámica (DMC), Control predictivo (MPC), producción alcohol, retos en educación, retos y soluciones ante el Covid-19.

I. INTRODUCCIÓN

Las columnas de destilación son ampliamente utilizadas mundialmente; y la industria costarricense no es la excepción. En el país, se destila alcohol a partir de caña de azúcar, lo que resultó vital ante la situación de pandemia que se enfrenta. En mayo de 2020, el gobierno de Costa Rica solicitó que se duplicara la producción de alcohol nacional para uso interno, proporcionando un salvamento ante la escasez del producto a nivel mundial [1].

Se espera obtener un controlador predictivo tipo DMC para un modelo matemático de una columna de destilación, posteriormente se pretende implementarlo en software industrial y finalmente con una columna real.

II. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El estudiar procesos industriales avanzados y el control de los mismos, representa un área esencial para los estudiantes de Ingeniería Eléctrica en relación con su participación en la comunidad científica y en el mercado. Particularmente, las columnas de destilación operan en industrias químicas, alimentarias y farmacéuticas; son utilizadas para separar a partir de una mezcla, uno o varios componentes. Sin embargo, estos conocimientos no llegan a los estudiantes por falta de equipo de laboratorio o programas de simulación. Este vacío en la formación ha provocado que la academia y empresas fabricantes, distribuidoras e instaladoras de sistemas de control, busquen fortalecer estos conocimientos.

Junto al proceso, es vital comprender el funcionamiento del sistema de control a utilizar, el cual convencionalmente es realizado por un algoritmo de control predictivo (cuyo uso industrial es extenso). Sin embargo, este algoritmo tampoco se cubre en la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Es por ello que este proyecto busca crear un sistema replicable en el laboratorio para estudiantes de grado y posgrado; que permita desarrollar futuros proyectos de graduación y de investigación. Se buscará recrear el sistema en equipo y software de calibre industrial, que permita acercar más al estudiantado al funcionamiento real.

III. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

La propuesta es crear una versión didáctica y simulada de este proceso incluyendo la no linealidad, el control de múltiples entradas y salidas, así como un sistema de control predictivo. Para ello, se debe investigar qué tipos de columnas se usan en el mercado, qué software y hardware se tendría disponible para probar, qué tipo de MPC (del inglés, *Model Predictive Control*) se usa en la industria para controlar el proceso y qué tipos de MPC hay en el mercado. Los resultados de la investigación ilustrarán qué sistema debe crearse, según el modelo de columna que se disponga. Una vez creado el sistema, se debe probar el funcionamiento del simulador en equipo y software de nivel industrial, el cual en caso de ser exitoso se podría utilizar para controlar una columna de destilación real como la ubicada en un Laboratorio de la Escuela de Química.

IV. METODOLOGÍA

Se debe realizar la elección de un modelo matemático ya existente para una columna de destilación. En MATLAB®, se desarrolla el código necesario para realizar el control DMC. En este mismo software, se desarrollan las pruebas que permitan evaluar el desempeño del controlador; y se realizan los cambios pertinentes en la sintonización, hasta obtener los resultados deseados. Una vez que se concreta el diseño del controlador, se procede a simularlo junto con la columna en el software industrial DeltaV. Si se tiene éxito, se implementa el controlador en una columna de destilación real.

V. RESULTADOS

A. Columna

Se seleccionó el modelo de columna de destilación binaria desarrollado en [2]. La columna en cuestión es continua, tiene 20 platos, alimentación única en el plato 10, un condensador total y un rehervidor; como ejemplifica la Fig.1 El sistema a controlar tiene dos entradas manipulables: F_R (reflujo de material condensado hacia la columna), y V (flujo de vapor en la columna). Las salidas del sistema serán las fracciones molares de composición del producto destilado y de fondo: x_D y x_B .



Fig. 1. Columna de destilación.

B. MPC/DMC

El MPC representa una gama de controladores. Uno de los esquemas más utilizados, es el GPC (del inglés, *Generalized Predictive Control*). Además, destacan otros algoritmos comerciales como el DMC (*Dynamic Matrix Control*), MAC (*Model Algorithmic Control*) y PFC (*Predictive Functional Control*) [3].

En el Laboratorio de Automática de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se tiene acceso al software industrial DeltaV, desarrollado por EMERSON®. En este software, es posible simular el control de una columna de destilación utilizando un paquete basado en DMC. Como se busca llevar el proyecto a la práctica, se plantea desarrollar un algoritmo DMC, que pueda también implementarse en DeltaV.

Tras desarrollar el código del controlador en MATLAB® y realizar distintas pruebas para mejorar su sintonización, se obtuvieron resultados que se pueden resumir en la Fig. 2. En esta, se observan dos cambios: el primero varía la referencia de 0.9 a 0.98 para x_D y de 0.1 a 0.02 para x_B . El segundo cambio ocurre en el minuto 60, donde se simuló una modificación de 5% en el flujo de alimentación y un 2% en su composición. En ambas situaciones, el desempeño del controlador es adecuado.

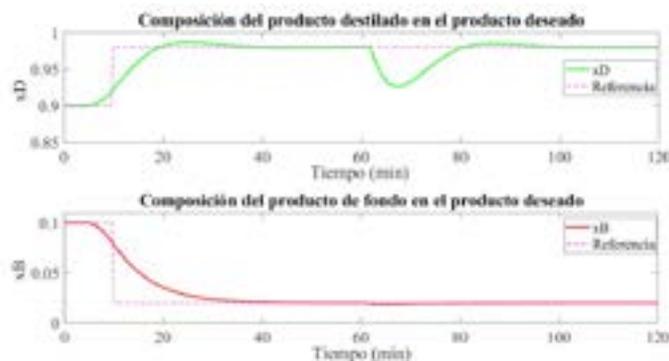


Fig. 2. Pruebas del sistema de control.

CONCLUSIONES

- El modelo de columna de destilación utilizado, se acopla con el control predictivo.
- El control DMC desarrollado es exitoso; responde adecuadamente ante cambios en los valores deseados y perturbaciones.
- Es posible continuar con la implementación del controlador en software industrial DeltaV.

REFERENCIAS

- [1] El mundo.cr, “Gobierno solicita a LAICA reservar producción nacional de alcohol”, 2020.
- [2] C. A. F. Hernández, *Control Predictivo Basado en Modelo (MPC) de una Columna de Destilación Binaria para la producción de etanol*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2013.
- [3] E. Camacho y C. Bordons, *Model predictive control*, 2da ed. Springer, 2007.

Terapia fototérmica controlada mediante lógica difusa multivariable

Multivariable fuzzy logic controlled photothermal therapy

Mauricio Céspedes Tenorio
 Estudiante, Ingeniería Eléctrica
 e-mail: mauricio.cespedestenorio@ucr.ac.cr

Diego Dumani Jarquín
 Profesor, Ingeniería Eléctrica
 e-mail: diego.dumani@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Cáncer, hipertermia, lógica difusa, sistemas de control, terapia fototérmica.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el tratamiento oncológico por hipertermia ha surgido como una opción para implementar clínicamente. La hipertermia se fundamenta en elevar la temperatura del tejido corporal hasta generar daño y muerte en las células cancerígenas [1]. Cuando se lleva a cabo con un láser, es denominada terapia fototérmica.

Durante el tratamiento de hipertermia, existe riesgo de efectos secundarios indeseados, principalmente el daño térmico del tejido sano contiguo y el aumento de la temperatura en el tejido a valores que generan su carbonización y evaporación [2], [3]. Esta investigación pretende contribuir en maximizar la efectividad de la terapia fototérmica en la eliminación del tumor, mantener la temperatura dentro de los rangos recomendables y minimizar el daño térmico del tejido sano circundante.

La difusión del calor en el tejido está gobernada por la ecuación de biocalor de Pennes [2]:

$$H(j\omega) = \frac{G_{xy}(j\omega)}{G_{xx}(j\omega)} \quad (1)$$

donde ρ es la densidad, c_p el calor específico, k la conductividad térmica (estas tres propiedades varían según el tipo de tejido), T la temperatura, y Q_M , Q_S y Q_L las tasas de calor por cambios metabólicos, por perfusión sanguínea y la generada por el láser respectivamente. Q_S se puede calcular con la Ecuación 2, donde v_s es la tasa de perfusión sanguínea en el tejido (dependiente de la temperatura), y ρ_s , c_{ps} y T_s son la densidad, calor específico y temperatura de la sangre respectivamente [2].

$$Q_S = v_s \rho_s c_{ps} (T_s - T) \quad (2)$$

Q_M se debe aproximar según los datos encontrados en la literatura [2]; y Q_L , en general, está dado por [2]:

$$Q_L = \mu_a \phi \quad (3)$$

donde μ_a es el coeficiente de absorción del tejido o material y ϕ es la irradiancia (potencia incidente por unidad de superficie). Q_L es la tasa de calor responsable de la hipertermia, mientras que Q_M y Q_S representan mecanismos del organismo para mantener la temperatura corporal en los rangos nomales para un ser humano.

En esta investigación, el método Montecarlo fue empleado para el cálculo de la irradiancia ϕ [3]. Para su implementación, se utilizó el software ValoMC en MATLAB® [5].

El coeficiente de daño térmico permite medir el grado de daño celular de cada tejido, al exponerse a altas temperaturas durante un lapso. Este dato se aproximará con la Ecuación de Arrhenius, que logra cuantificar el tejido dañado por el aumento de la temperatura [3]:

$$\zeta(x, y, z, t) = \int_0^t A e^{\left(-\frac{\Delta E_a}{R \cdot T(x, y, z, t)}\right)} dt \quad \forall t: 0 < t < \tau \quad (4)$$

donde ζ es llamado parámetro o coeficiente de daño, A factor de frecuencia, ΔE_a la energía de activación, R la constante universal de los gases, T la temperatura y τ el tiempo de exposición. Asumiendo que en el tiempo cero el daño térmico es nulo, el porcentaje de daño térmico se calcula como:

$$P(\%) = 100[1 - e^{(-\zeta(x, y, z, t))}] \quad (5)$$

III. ALGORITMO DE CONTROL

Se propone utilizar un algoritmo de control basado en lógica difusa con múltiples entradas y una salida. El controlador posee cinco entradas: el daño térmico en la zona con menor temperatura del tumor, la temperatura máxima estimada dentro del tumor y su cambio con respecto al tiempo, el daño máximo del tejido sano y su cambio con respecto al tiempo. La primera de estas entradas es necesaria para definir cuándo ya se dañó completamente el tejido tumoral (objetivo final de la terapia), la segunda y la tercera son trascendentales para no exceder el límite de temperatura

recomendada (105°C) [4], y las últimas dos son utilizadas para minimizar el daño térmico del tejido sano. La única salida del algoritmo de control es la potencia del láser.

IV. METODOLOGÍA

Esta investigación está dividida en tres partes. La primera corresponde a una revisión bibliográfica acerca de los modelos matemáticos disponibles para la terapia fototérmica y de los algoritmos de control valorados para este tratamiento oncológico. Se continúa con la definición de las características del tejido y del tratamiento considerado, junto con la simulación del modelo seleccionado, esto en el software MATLAB® con del Toolbox de Ecuaciones Diferenciales Parciales y de ValoMC. La última parte del estudio consiste en el diseño, implementación, simulación y evaluación del sistema de control multivariable por lógica difusa, para lo cual se hará uso del Toolbox de Lógica Difusa de MATLAB®.

V. RESULTADOS PARCIALES

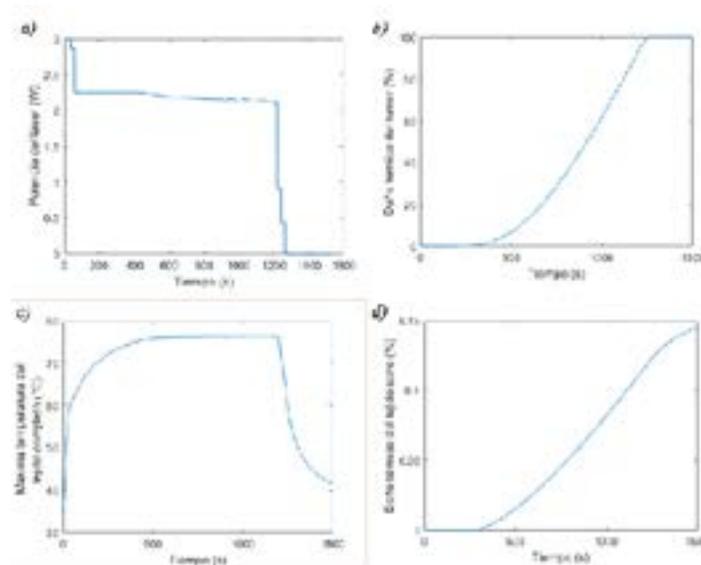


Fig. 1. Resultados utilizando el controlador diseñado, con un láser continuo de 3W de potencia máxima. Las gráficas muestran a) potencia del láser, b) daño térmico en zona de menor temperatura - tumor, c) máxima temperatura – tejido completo y d) daño térmico máximo - tejido sano.

CONCLUSIONES

Mediante el controlador propuesto, se obtuvo un daño térmico en el tejido tumoral del 100% en 21 minutos, la temperatura máxima siempre se mantuvo por debajo de los 80°C (evitando efectos de carbonización y evaporación) y el tejido sano presentó un daño térmico de menor a 0.15%. Se considera que el algoritmo de control logra cumplir con las metas propuestas.

REFERENCIAS

- [1] A. A. Manzoor and M.W. Dewhirst, *Hyperthermia*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 1785–1791.
- [2] Y. Ren, H. Qi, Q. Chen, and L. Ruan, “Thermal dosage investigation for optimal temperature distribution in gold nanoparticle enhanced photothermal therapy,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 106, pp. 212–221, 2017.
- [3] S. Long, Y. Xu, F. Zhou, B. Wang, Y. Yang, Y. Fu, N. Du, and X. Li, “Characteristics of temperature changes in photothermal therapy induced by combined application of indocyanine green and laser,” *Oncology Letters*, vol. 17, no. 4, pp. 3952–3959, 2019.
- [4] A. A. Leino, A. Pulkkinen, and T. Tarvainen, “ValoMC: a Monte Carlo software and MATLAB toolbox for simulating light transport in biological tissue,” *OSA Continuum*, vol. 2, no. 3, p. 957, 2019.

Procesamiento de Señales de Habla basado en Deep Learning

Speech Signal Processing based on Deep Learning

Astryd González Salazar

Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica

e-mail: astryd.gonzalez@ucr.ac.cr

Michelle Gutiérrez Muñoz

Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica

e-mail: michelle.gutierrezmunoz@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Deep learning, habla, inteligencia artificial, procesamiento de señales, redes neuronales.

I. INTRODUCCIÓN

El procesamiento de señales de audio es necesario para la transmisión, reconocimiento y almacenaje de este tipo información. Dado que el registro de señales como el habla se realiza en ambientes no ideales, éstas se ven contaminadas con ruido y distorsión, por lo cual se requieren métodos externos de filtrado o reconstrucción. Durante las últimas décadas se han desarrollado diversos algoritmos para mejorar la calidad de estas señales y de esta manera permitir a los distintos procesos y aplicaciones trabajar de una manera más adecuada, tales como el reconocimiento automático del habla y los dispositivos de comunicación alternativa para personas con discapacidad.

En esta línea, *deep learning*, es decir, la implementación de redes neuronales profundas, ha presentado resultados relevantes en la mejora de señales ruidosas y con reverberación. En la presente investigación se ha experimentado con redes recurrentes de memoria a corto y largo plazo (LSTM) para mostrar mejoras significativas en el filtrado de señales.

Adicionalmente, debido al alto costo computacional del entrenamiento de este tipo de modelos de aprendizaje de máquina, se proponen el uso de redes mixtas, combinando LSTM con modelos clásicos como el perceptrón, y de esta manera disminuir los tiempos entrenamiento, al mismo tiempo que se mantiene la eficacia de los modelos más complejos. Asimismo, se propuso el uso de *transfer learning*, para aumentar la eficiencia del sistema y disminuir el tiempo de entrenamiento.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de reverberación y ruido es común en señales de habla registradas con micrófonos en ambientes no controlados, como en los teléfonos celulares y en dispositivos de comunicación

umentativa para personas con discapacidad. Este efecto se incrementa con la distancia del usuario al dispositivo con el que se registra la señal. Se puede asumir que la señal registrada x es una versión degradada de la señal limpia s . La relación entre ambas señales se describe de la siguiente forma:

$$x(n) = h^T(n) * s(n), \quad (1)$$

donde $h = [h_1, h_2, \dots, h_L]^T$, el cual es la respuesta al impulso del canal acústico desde la fuente hasta el micrófono, L es el índice del vector de coeficientes de respuesta al impulso de tiempo discreto, T , es la transpuesta del vector h , y $*$ es la operación de convolución. También existe un componente de ruido que puede modelarse como una señal sumada a la original.

Al implementar redes neuronales profundas, se puede estimar una aproximación de $s(n)$ usando una función $f(\cdot)$ entre los datos de la señal reverberada y la señal limpia:

$$\hat{s}(t) = f(x(t)). \quad (2)$$

En cuanto a la calidad de la aproximación hecha por $f(\cdot)$ usualmente depende de la cantidad de datos y el algoritmo seleccionado. En [1], se tomó como caso base la estimación de $f(\cdot)$ hecha por redes LSTM con tres capas ocultas. En la investigación presente en [2], proponemos una validación estadística y comparación de los resultados de las redes neuronales mixtas, incluyendo combinaciones de capas LSTM y de perceptrón.

III. RESULTADOS

Los hallazgos principales de la investigación, desarrollada de forma extracurricular y voluntaria en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se han publicado en [1]-[3]. En el primer caso, se ha mostrado cómo se pueden aplicar las redes LSTM para mejorar señales provenientes de un dispositivo de comunicación aumentativa para una persona en condición de discapacidad. La Fig. 1 presenta el dispositivo wearable diseñado para este fin.

En los otros dos casos, se estudiaron técnicas con el fin de reducir el costo computacional de las redes LSTM, en [2] se implementaron redes mixtas, mostrando cómo se puede reducir el costo computacional al tiempo que se mantiene su eficiencia en el filtrado de ruido y reconstrucción de la señal de audio. Para ambas investigaciones, los espectrogramas obtenidos, evidencian la mejora realizada a las señales de audio al aplicar las técnicas planteadas.

Continuando con lo anterior, en [3] se propone el uso de *transfer learning* para acelerar y mejorar el entrenamiento tradicional basado en la inicialización *random* de los pesos internos de las redes neuronales. Los resultados mostraron que la transferencia desde una red en particular es mejor en términos de tiempo y resultados, la inicialización utilizando memorias autoasociativas

obtuvieron los mejores resultados, así como un mayor tiempo de entrenamiento y la inicialización *random* no representa la mejor opción en ninguno de los casos estudiados.



Fig. 1. Dispositivo *wearable* para comunicación alternativa.

CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas han contribuido al estado del arte sobre el procesamiento de señales de habla basado en *Deep Learning* al implementar distintos tipos de redes neuronales, al mismo tiempo que se ha ligado con el impacto de la ingeniería en la sociedad mediante el desarrollo de dispositivos que pueden mejorar la calidad de vida de la población con discapacidad.

REFERENCIAS

- [1] González-Salazar, Astryd, Michelle Gutiérrez-Muñoz, and Marvin Coto-Jiménez. "Enhancing Speech Recorded from a Wearable Sensor Using a Collection of Autoencoders." *Latin American High Performance Computing Conference*. Springer, Cham, 2019.
- [2] Gutiérrez-Muñoz, Michelle, Astryd González-Salazar, and Marvin Coto-Jiménez. "Evaluation of Mixed Deep Neural Networks for Reverberant Speech Enhancement." *Biomimetics* 5.1 (2020): 1.
- [3] Coto-Jiménez, Marvin, Astryd González-Salazar, Michelle Gutiérrez-Muñoz. "Experimental Study on Transfer Learning in BLSTM Autoencoders for Noisy Speech Enhancement". *Springer Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics 2020* (In press).

Desarrollo de Tecnologías del Habla en Costa Rica

Developing Speech Technologies in Costa Rica

Marvin Coto Jiménez

Docente, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica

e-mail: marvin.coto@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Deep learning, Inteligencia artificial, Procesamiento de señales, Reconocimiento de voz, Tecnologías del habla.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías del habla son un conjunto de conocimientos, técnicas y recursos empleados para propiciar la interacción de las personas con dispositivos electrónicos, o bien entre personas con mediación de un dispositivo. Sus tres áreas principales de desarrollo son el reconocimiento de habla, la síntesis de voz y el análisis del habla.

La primera de ellas puede entenderse como un proceso análogo al de la escucha humana, mientras que la síntesis de voz es análoga al proceso de generar la señal de habla a partir de un texto. En el análisis se extrae de la señal información sobre la edad, la procedencia de la persona, la emoción, el género, entre otras. Esto es de mucha importancia para sistemas de interacción de personas con dispositivos. Por ejemplo, es deseable la adaptación de las aplicaciones o asistentes virtuales cuando interactúan con niños, para la cual deben identificarlos solamente con el sonido de sus voces.

En la presente investigación en desarrollo se ha abordado la creación y evaluación de sistemas de reconocimiento de habla, de síntesis de voz y de análisis de señales de habla para el caso de la lengua castellana con acento costarricense. Para esto se colaborado con un equipo multidisciplinario de profesionales dentro de la Universidad de Costa Rica, generando no solamente un eje de investigación, sino que ha integrado actividades de docencia y acción social.

II. PROBLEMA

A partir de los múltiples beneficios y oportunidades que representan las tecnologías del habla para el país, tales como en sistemas de interacción, de educación y de apoyo a la población con discapacidad, se plantea el desarrollo de éstas para impactar positivamente a la sociedad costarricense desde la academia, abordando los retos principales que existen en países en desarrollo:

la generación de las tecnologías cuando hay pocos datos, y el trabajo con estos cuando se tienen condiciones no ideales, como la reverberación y el ruido.

III. RESULTADOS

Los resultados que se presentan en esta sección provienen del proyecto 322-B9-105 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, con vigencia del 4 de marzo de 2019 a 30 de julio de 2022.

A. Desarrollo de conocimiento

En cuanto al reconocimiento del habla se han obtenido resultados relevantes al aplicar nuevas estrategias de deep learning en la mejora de señales degradadas con reverberación y ruido, las cuales se han publicado recientemente [1-5]. Estas estrategias parten principalmente de nuevas condiciones de inicialización de las redes neuronales que las hacen más eficientes y eficaces para los problemas específicos. En cuanto a la generación de voz artificial en condiciones adversas, estos principios se han analizado con éxito en [6-7], mientras que en el análisis de la señal de voz, los resultados principales se han presentado en [8].

B. Impacto en la Acción Social y la Docencia

Con el desarrollo de las tecnologías del habla en el país se han abierto las posibilidades de llevar a una realidad concreta sus beneficios, especialmente para la población con discapacidad en el proyecto vigente ED-3416 “Tecnologías del habla para mejorar la calidad de vida de la población con discapacidad”, desarrollado con profesionales de la institución de Educación Especial, Terapia Física y Orientación. Los frutos de este trabajo se han sistematizado en [9-10]. En cuanto a la docencia, a través del proyecto PD-IE-869-2018, los resultados del proyecto de investigación y la colaboración con acción social se han llevado a las aulas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica a través de conferencias, asignaciones y proyectos. Estas experiencias se han sistematizado en publicaciones que se encuentran en proceso de revisión. Adicionalmente, múltiples proyectos de graduación de nivel de bachillerato y licenciatura han sido presentados con éxito y se encuentran actualmente en proceso de desarrollo.

CONCLUSIONES

El desarrollo de tecnologías del habla en el país enfrenta necesidades específicas de las técnicas (uso de habla generada en el país) con algunos problemas relevantes en el estado del arte: el manejo del ruido, el desarrollo de sistemas de reconocimiento y síntesis de voz con pocos datos, y la eficiencia de las redes neuronales profundas, las cuales constituyen una de las técnicas más

presentada a sido fructífera a nivel de generación de conocimiento en publicaciones académicas, así como en el impacto en proyectos de acción social. Adicionalmente, ha permeado las aulas de ingeniería eléctrica y ha permitido la participación de estudiantes y un equipo multidisciplinario de docentes, integrando de esta manera las actividades sustantivas de la Universidad de Costa Rica: docencia, investigación y acción social.

REFERENCIAS

- [1] Coto-Jiménez, Marvin. "Experimental Study on Transfer Learning in Denoising Autoencoders for Speech Enhancement." *Mexican Conference on Pattern Recognition*. Springer, Cham, 2020.
- [2] Yeom-Song, Víctor, Marisol Zeledón-Córdoba, and Marvin Coto-Jiménez. "A Performance Evaluation of Several Artificial Neural Networks for Mapping Speech Spectrum Parameters." *Latin American High Performance Computing Conference*. Springer, Cham, 2019.
- [3] Alfaro-Picado, Andrei, Stacy Solís-Cerdas, and Marvin Coto-Jiménez. "An Experimental Study on Fundamental Frequency Detection in Reverberated Speech with Pre-trained Recurrent Neural Networks." *Latin American High Performance Computing Conference*. Springer, Cham, 2019.
- [4] Paniagua-Peñaranda, Carolina, Marisol Zeledón-Córdoba, and Marvin Coto-Jiménez. "Assessing the Robustness of Recurrent Neural Networks to Enhance the Spectrum of Reverberated Speech." *Latin American High Performance Computing Conference*. Springer, Cham, 2019.
- [5] Gutiérrez-Muñoz, Michelle, Astryd González-Salazar, and Marvin Coto-Jiménez. "Evaluation of Mixed Deep Neural Networks for Reverberant Speech Enhancement." *Biomimetics* 5.1 (2020): 1.
- [6] Coto-Jiménez, Marvin. "Measuring the Effect of Reverberation on Statistical Parametric Speech Synthesis." *Latin American High Performance Computing Conference*. Springer, Cham, 2019.
- [7] Coto-Jiménez, Marvin. "Improving post-filtering of artificial speech using pre-trained LSTM neural networks." *Biomimetics* 4.2 (2019): 39.
- [8] Coto-Jiménez, Marvin, Maribel Morales-Rodríguez, and Daniel Vargas-Díaz. "Un primer acercamiento a la caracterización acústica del habla de niños costarricenses." *Revista Tecnología en Marcha* (2020): pág-80.
- [9] González-Salazar, Astryd, Michelle Gutiérrez-Muñoz, and Marvin Coto-Jiménez. "Enhancing Speech Recorded from a Wearable Sensor Using a Collection of Autoencoders." *Latin American High Performance Computing Conference*. Springer, Cham, 2019.
- [10] Coto-Jiménez, Marvin, and Morales-Rodríguez, Maribel. "Tecnologías del habla para la educación inclusiva." *Actualidades Investigativas en Educación* (2020).

Tema III
Mediciones de variables
físico-ambientales y sus aplicaciones

¿Qué información brinda una base de datos de aguas vertidas en un sistema de irrigación?

What informations does a wastewaters database provide from an irrigation system

*Anayansi Wong Monge,
Estudiante, Maestría Académica de Ingeniería de Biosistemas,
Universidad de Costa Rica
e-mail: anayansi.wong@ucr.ac.cr*

*Alejandra Rojas González,
Profesora Asociada, Escuela de Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Costa Rica
e-mail: alejandra.rojasgonzalez@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Análisis de componentes principales (ACP), calidad del agua, Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), salinización de suelos y sistemas de riego.

I. INTRODUCCIÓN

Del complejo hidroeléctrico ARCOSA se realiza una derivación de aguas hacia la Vertiente del Pacífico que son reguladas por el Distrito de Riego Arenal-Tempisque (DRAT), para ser utilizadas en sistemas de irrigación.

A partir del 2008 el DRAT inicia el proceso de evaluación de las aguas de los sitios de descarga para cumplir con los reportes operacionales que solicita semestralmente el Ministerio de Salud de Costa Rica, con base en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales [1]. Debido a la expansión del DRAT, ha sido un proceso en evolución donde se han aumentado los puntos de muestreo hasta alcanzar un total de 29 y actualmente se determinan 96 variables. El presente estudio se enfoca en 12 puntos de muestreo, que corresponden a los iniciales, de tal modo que es posible trabajar con la información de una década (2008-2018). Además, se escogen un total de 22 variables que se consideran las más significativas y se excluyen los 62 análisis de agroquímicos que se recomienda evaluar independientemente.

Entonces, surge la pregunta de investigación: ¿Qué información brinda una base de datos de aguas de vertido provenientes de sistemas de irrigación a través de un análisis estadístico?

II. METODOLOGÍA

Se realiza un análisis de estadística descriptiva, considerando la media, la mediana, la desviación estándar para los puntos establecidos. Los promedios son comparados con respecto a la norma de referencia [1].

Se aplica estadística multivariada, utilizando un análisis de componentes principales (ACP), que son representados por gráficos biplot y de coordenadas individuales, para establecer las diferencias entre los lugares de muestreo.

Otra técnica de estadística multivariada realizada es el Análisis Cluster o de Conglomerados, aplicando algoritmos de clasificación jerárquica y para la estimación cuantitativa de similaridad se emplea la distancia euclidiana.

Los métodos estadísticos se ejecutaron en el lenguaje de programación en R [3], [4] y [5].

III. RESULTADOS

De la evaluación de estadística descriptiva se determina que las variables microbiológicas de coliformes fecales (CF) y de coliformes totales (CT) son las más críticas, pues se presentan incumplimientos para todos los puntos de muestreo, a excepción de la Laguna del Arenal que corresponde a la fuente de alimentación del DRAT.

Del análisis de componentes principales (ACP), se obtiene que el primer componente principal (CP1) con valores de autovectores normalizados mayores a 0,27 se asocian: sólidos disueltos (SD), dureza total (DT) y sólidos totales (ST). Para el segundo componente principal (CP2) con autovectores mayores a 0,40 se agrupan: Nitratos totales (N) y sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Estos dos componentes principales presentan una varianza acumulada de 67,66 %.

Del Análisis Cluster o de Conglomerados se obtiene que los puntos de muestreo son clasificados en 4 grupos: La Bocana; Lajas; Playitas y Tamarindo; y el conglomerado con mayor homogeneidad que incluye: Laguna Arenal, Represa Miguel Pablo Dengo Benavides, Falconiana, Bagatzí, Reajuste, La Guaria, La Soga y Paso Hondo.

Con base en la robusta base de datos de calidad de aguas del DRAT y las técnicas estadísticas aplicadas se determina que los datos se comportan de manera congruente con algunas problemáticas asociadas a sistemas de riego, como contaminación microbiana, salinización de suelos, entre otros; que requieren la búsqueda de alternativas para su solución.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), “*Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales*”, Decreto No. 33601, San José, Costa Rica, 2007.

- [2] Escuela de Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Costa Rica. “*Sistema de Apoyo para la Gestión Inteligente del Recurso Hídrico (SAGIRH)*”. <https://www.sagirh.ucr.ac.cr/drat/> (accesado el 14 de noviembre de 2019).
- [3] S. Lê, J. Josse y F. Husson, “FactoMineR: An R package for multivariate analysis”, *Journal of Statistical Software*, vol. 25, no. 1, pp. 1-18, Mar. 2008, doi: 10.18637/jss.v025.i01.
- [4] G. Sánchez, “*PLS path modeling with R*”, Trowchez Editions, Berkeley, 2013. [en línea]. Disponible en: https://www.gastonsanchez.com/PLS_Path_Modeling_with_R.pdf
- [5] S. Dray y A. B. Dufour, “The ade4 Package: Implementing the duality diagram for ecologists”, *Journal of Statistical Software*, vol.22, no. 4, pp. 1-20, Set. 2007, doi: 10.18637/jss.v022.i04.
- [6] K. A. Hamilton, W. Ahmed, E. Rauh, C. Rock, J. McLain, and R. L. Muenich, “Comparing microbial risks from multiple sustainable waste streams applied for agricultural use: Biosolids, manure, and diverted urine,” *Current Opinion in Environmental Science and Health*, vol. 14. Elsevier B.V., pp. 37–50, Abr. 2020, doi: 10.1016/j.coesh.2020.01.003.
- [7] P. S. Minhas, T. B. Ramos, A. Ben-Gal, and L. S. Pereira, “Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues,” *Agricultural Water Management*, vol. 227. Elsevier B.V., p. 105832, Ene. 2020, doi: 10.1016/j.agwat.2019.105832.
- [8] S. Liu et al., “Characterisation of spatial variability in water quality in the Great Barrier Reef catchments using multivariate statistical analysis,” *Marine Pollution Bulletin.*, vol. 137, pp. 137–151, Dic. 2018, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.10.019.
- [9] H. S. Jahin, A. S. Abuzaid, and A. D. Abdellatif, “Using multivariate analysis to develop irrigation water quality index for surface water in Kafr El-Sheikh Governorate, Egypt,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 17, p. 100532, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.eti.2019.100532.
- [10] B. Shah *et al.*, “Reckoning of water quality for irrigation and drinking purposes in the konkan geothermal provinces, Maharashtra, India,” *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 9, p. 100247, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.gsd.2019.100247.

Análisis de Firmas Hiperespectrales del Pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) Bajo Régimen de Pastoreo

Hyperspectral Signature Analysis of African Star Grass (*Cynodon nlemfuensis*) Under Cattle Grazing Activity

Alberto Francisco Coto Fonseca

Estudiante de Posgrado, Escuela de Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Costa Rica.

Email: alberto.cotofonseca@ucr.ac.cr

Alejandra María Rojas Gonzalez

Profesora Asociada, Escuela de Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Costa Rica.

Email: alejandra.rojasgonzalez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Firma hiperespectral, forrajes, pasto estrella, pastoreo, teledetección.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se utilizan los sensores remotos para el estudio de la vegetación y en los últimos años ha ido en crecimiento su uso en el ámbito agrícola debido a su alto potencial de aplicabilidad para el estudio de los cultivos de una manera no destructiva. En esta área se han realizado estudios donde se utiliza la información satelital para la aplicación de modelos orientados a la determinación de requerimientos hídricos de los cultivos agrícolas, tal es el caso de la investigación realizada por Allen *et al.* [1]. Adicionalmente a la información satelital, se implementa el uso de la espectro-radiometría de campo como herramienta para identificar y analizar el estado de los cultivos y enfermedades asociadas a partir de los patrones que se obtienen de las firmas hiperespectrales [2]. Hoy en día la mayoría de los estudios relacionados con información de sensores remotos se orientan a cultivos para alimentación humana; sin embargo, es necesario generar información orientada a la producción de forrajes dedicados a la alimentación de ganado lechero. Esta investigación explora la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto del régimen de pastoreo de ganado lechero sobre las firmas hiperespectrales en época lluviosa asociadas al cultivo de pasto estrella?

II. METODOLOGÍA

La zona de estudio está localizada en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica. Se realizó un levantamiento de información hiperespectral en tres áreas de cultivo dedicadas al pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*)

para longitudes de onda entre los 350 nm hasta 2500 nm y el área de índice foliar. Se utilizó un espectro radiómetro “ASD FieldSpec 4 Wide Resolution” con una resolución de 6 nm en la región visible y 10 nm en la región del infrarrojo y un analizador de dosel LAI-2200C marca LI-COR. Se hizo un muestreo por bloques durante la estación lluviosa del 2019 y un análisis comparativo entre las firmas para determinar la sensibilidad espectral a los cambios en los ciclos y patrón de pastoreo en el pasto estrella en los diferentes bloques.

III. RESULTADOS

En la Fig. 1. se grafican las respuestas hiperespectrales promedio del pasto estrella en la configuración de muestreo por bloques correspondientes al lote de muestreo 3. Se registra que hay variaciones en la reflectancia de hasta 0.18 en longitudes de onda en el rango del infrarrojo cercano (700 nm a 1350 nm aproximadamente). Este rango espectral es de gran relevancia ya que está relacionado con la estructura celular vegetal y por lo general se utiliza para identificar los diferentes tipos de cultivos, la etapa fenológica y la presencia de patógenos, por ejemplo en las hojas como la enfermedad de la mancha de *Septoria tritici* en diversas variedades de trigo [3]. Adicionalmente es utilizado en el cálculo de diferentes índices vegetativos y de humedad como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) donde en información satelital como por ejemplo Landsat 8, se centra la banda del infrarrojo cercano entre los 850 nm y los 880 nm.

En la región del infrarrojo de onda corta específicamente entre 1570 a 1650 nm, la cual caracteriza a la banda SWIR1 del satélite LandSat 8, las diferencias máximas de reflectancia son alrededor de 0.1. Esta región del espectro es importante para la detección de humedad en la planta, el suelo o agua almacenada en la superficie, donde existen varios índices que lo caracterizan, como el índice de diferencia normalizada de agua (NDWI) que detecta la cantidad de humedad en la superficie de los cultivos en las imágenes LandSat 8. En el caso de la región entre los 2110 nm a los 2290 nm que caracteriza la banda SWIR2 de este satélite, es eficiente en la detección de minerales en el suelo, por lo que es utilizada en detectar áreas expuestas a incendios o medir las variaciones de suelo desnudo e incorporándolas en el índice de vegetación total con el ajuste del suelo (SATVI) [4].

Otro aspecto que destacar es que entre las tres áreas de muestreo se presentaron diferencias en las firmas hiperespectrales. Dichas diferencias se le atribuyen a la rotación propia del sistema de pastoreo que se implementa en la estación experimental, ya que el ganado entra a las parcelas para alimentarse en distintos días y por ende se tiene un estado diferenciado de crecimiento del pasto, lo cual se observó en campo con la diferentes alturas del cultivo y al presentarse firmas hiperespectrales con menores valores de reflectancia. Este comportamiento de las firmas hiperespectrales del pasto estrella queda reafirmado también con la información del índice de área foliar en las zonas en estudio a lo largo del tiempo. En un inicio se obtuvo un comportamiento creciente debido al desarrollo del cultivo y por ende una mayor área de cobertura, para luego decaer después de haber entrado el ganado a alimentarse. En este aspecto a lo largo del tiempo siempre se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre algunas de las zonas de muestreo

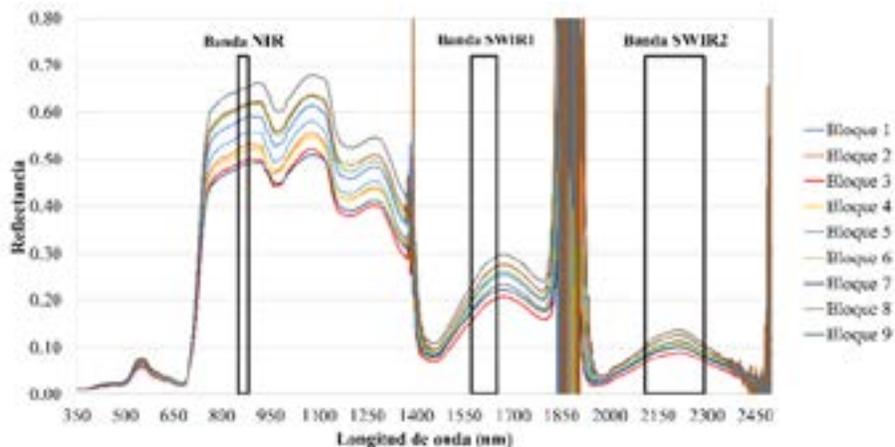


Fig. 1. Firmas hiperespectrales promedio por bloques del área de muestreo 3 para el 12 de noviembre de 2019.

De acuerdo con la información obtenida, se determinó que el régimen de pastoreo del ganado tiene un impacto directo de reducción y un efecto de heterogeneidad sobre las firmas hiperespectrales, especialmente a lo interno de cada área de muestreo. El ganado altera los patrones de humedad del suelo, las propiedades del suelo y la homogeneidad del cultivo dado que no tiene patrones definidos a la hora de alimentarse en el campo. Esta heterogeneidad podría afectar el cálculo de los índices vegetativos, de humedad y suelos por medio de imágenes Landsat.

Se recomienda realizar este tipo de análisis durante la época seca de manera que se pueda tener una visión más integral del comportamiento espectral de los cultivos forrajeros a lo largo de todo el año, así como un análisis más profundo en conjunto con la información satelital.

REFERENCIAS

- [1] R. G. Allen *et al.*, “Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration METRIC—Applications”, *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 4, núm. 133, pp. 395–406, 2007, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133.
- [2] I. F. S. Gazala *et al.*, “Spectral reflectance pattern in soybean for assessing yellow mosaic disease”, *Indian J. Virol.*, vol. 24, núm. 2, pp. 242–249, sep. 2013, doi: 10.1007/s13337-013-0161-0.
- [3] K. Yu *et al.*, “Hyperspectral Canopy Sensing of Wheat Septoria Tritici Blotch Disease”, *Front. Plant Sci.*, vol. 9, ago. 2018, doi: 10.3389/fpls.2018.01195.
- [4] R. C. Marsett *et al.*, “Remote Sensing for Grassland Management in the Arid Southwest”, *v.*, vol. 59, núm. 5, pp. 530–540, 2006, doi: <https://doi.org/10.2111/05-201R.1>.

Prueba de vibración ambiental del puente sobre río Chirripó, Ruta Nacional 32, Costa Rica

Ambient vibration test of the bridge over the Chirripó river, National Route 32, Costa Rica

Yi Cheng Liu Kuan

*Profesor Adjunto, Escuela de Ingeniería Civil, UCR
e-mail: yi.liukuan@ucr.ac.cr*

Hellen Garita Durán²

*Investigadora, Unidad de Puentes, Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR
e-mail: hellen.garita@ucr.ac.cr*

Sergio Lobo Aguilar

*Docente e investigador, Escuela de Ingeniería Civil, UCR
e-mail: sergio.lobo@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Camión, confiabilidad, factor, LEF, pavimentos rígidos.

I. INTRODUCCIÓN

Los puentes son elementos claves dentro de la infraestructura vial y poseen el mayor costo por unidad de longitud en una carretera. Sin embargo, estos pueden sufrir deterioros con el uso y enfrentan múltiples amenazas naturales como son los sismos y diluvios, razón por la que el diagnóstico de su estado estructural es determinante para los usuarios así como en la toma de decisiones sobre su conservación y rehabilitación. Las pruebas de vibraciones ambientales y en conjunto con el método de identificación estocástico de subespacios basado en covarianzas (SSI-COV) han demostrado su capacidad para conducir el análisis modal operacional y detectar y localizar daños, los cuales servirían de insumos para un diagnóstico acertado del estado estructural en complemento con la inspección visual, además de permitir validar los supuestos de diseño y evaluar la eficacia de la rehabilitación [1]-[4].

La Ruta Nacional n.º 32 es de vital importancia para el país en todas las dimensiones y está actualmente en un proceso de ampliación que incluye la construcción de puentes nuevos paralelos a los existentes y el diseño de rehabilitaciones de estos últimos. Uno de los puentes que requiere de intervención es el puente sobre el Río Chirripó, el cual posee 1 superestructura continua de viga metálica de mayor longitud en Costa Rica con unos 400 m (Fig 1). Este puente recibió el

embate del sismo de Limón de 1991 y se presentaron desplazamientos y daños en diferentes apoyos. Por este motivo, se ejecutó la prueba de vibración ambiental y el análisis modal operacional en este puente, para ello, se registraron aceleraciones con un total de 5 configuraciones de instrumentación y 96 nodos de medición, cuyos resultados modales pudieron ser empatados de manera exitosa.



Fig. 1. Vista Lateral del puente sobre el río Chirripó.

II. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS.

Se implementó la técnica SSI-COV de dos formas: análisis por bloques mediante diagramas de estabilización y análisis de tiempo-frecuencia por medio de una ventana deslizante, ambos con el espectro de método de descomposición en el dominio de frecuencias (FDD por sus siglas en inglés de “Frequency Domain Decomposition”) como auxiliar para una validación cruzada.

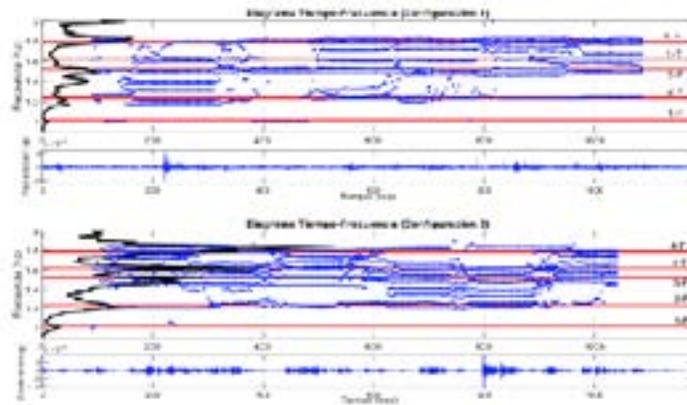


Fig. 2. Ejemplo de diagramas de tiempo-frecuencia para bloques de 20 minutos, con una tasa de muestreo reducida hasta 4 Hz, superpuestos con el espectro de descomposición en el dominio de frecuencias (FDD).

La primera forma extrae todos los modos identificables de un bloque completo de datos, pero en el caso de este puente resulta ser difícil de interpretar y empatar resultados modales de diferentes configuraciones, dado que solo en el rango de frecuencias de 1 Hz a 3,6 Hz se concentraron 11 modos de vibración, y se nota un importante acoplamiento entre los modos debido a la cercanía

de sus frecuencias naturales. Por esta razón, se recurrió al análisis de tiempo-frecuencia, para el cual, a manera de ejemplo se muestra en la Fig 2. En esta figura, que corresponde a los resultados de algunas configuraciones, donde se observa la presencia de gran cantidad de polos modales que aparentan poseer una frecuencia definida pero que corresponden a modos transitorios los cuales son el resultado de acoplamiento entre modos. Mediante un histograma de polos modales identificados como se muestra en la Fig 3, se pudo identificar las frecuencias dominantes de la estructura y empatar las correspondientes formas modales de diferentes configuraciones.

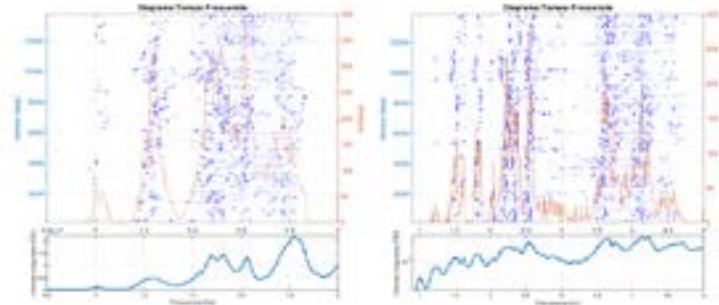


Fig. 3. Histograma resumen de los diagramas de tiempo-frecuencia de todas las configuraciones, con una tasa reducida a 4 Hz (izquierda) y 10 Hz (derecha), superpuestos con el promedio de los espectros de FDD.

En la Fig 4, se muestran solo las formas modales fundamentales, a manera de ejemplo, producto del empate de resultados de las 5 configuraciones, una vez confirmadas las frecuencias de los modos normales.

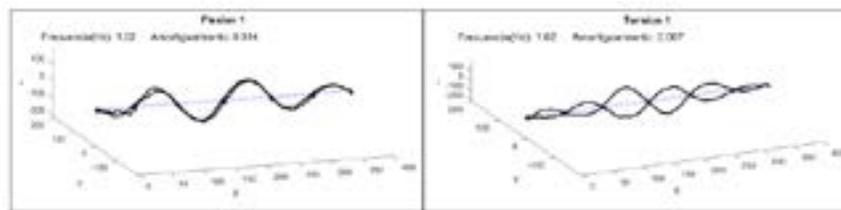


Fig. 4. Formas modales de flexión y torsión identificadas a partir del empate de 5 configuraciones de mediciones.

En principio, al tratarse de un puente con total simetría estructural respecto a su eje longitudinal, la forma modal entre ambos costados debería ser la misma, sin embargo, sí se nota una diferencia importante para los modos de flexión 4 a 7, especialmente en los tramos 1 y 2 (a mano izquierda) para los modos de flexión 4 y 6. Como fue señalado por Vargas-Alas et al. [5], existe una deformación lateral permanente de la superestructura justamente sobre la pila 3 (ubicada al final del segundo tramo), la cual podría ser la principal causante de este fenómeno identificado. Esto mismo se evidencia en los modos de torsión 2 y 3, dado que inmediatamente a la derecha de la pila 3 hay un cambio drástico e inesperado de curvatura de la forma modal en el costado aguas abajo.

CONCLUSIONES

Con base en la prueba de vibración ambiental y el análisis modal operacional realizado se concluye lo siguiente: a) el puente en estudio posee modos cercanamente espaciados entre uno y otro; se identificaron 11 modos entre 1,0 Hz y 3,6 Hz, donde hay 7 de flexión y 4 de torsión, además de presentar importante acoplamiento de modos. b) Un análisis de tiempo-frecuencia y un histograma de polos modales permite discernir con mayor facilidad las frecuencias de modos normales de modos transcientes o acoplados. c) Se detecta una importante anomalía en la forma modal en los tramos 1 y 2 (a mano izquierda). Existe alta probabilidad de que esta anomalía se debe a la deformación lateral permanente de la superestructura respecto al apoyo sobre la pila 3.

REFERENCIAS

- [1] P. Bart, “System Identification and Damage Detection in Civil Engineering”, Tesis de Doctorado, Katholieke Universiteit, Leuven, Bélgica, Dic. 2000.
- [2] Y.C. Liu, C.H. Loh y Y.Q. Ni, “Stochastic subspace identification for output-only modal analysis: application to super high-rise tower under abnormal loading condition”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 42, no. 4, pp. 477–498, 2013.
- [3] Y.C. Liu-Kuan et al., Monitoreo estructural de la superestructura No.2 del puente sobre el río Virilla Ruta Nacional No. 32, PITRA-LanammeUCR, San José, Costa Rica, LM-PI-UP-PN12-2015, Abril 2015.
- [4] C.R. Farrar y D.A. Jauregui, “Comparative study of damage identification algorithms applied to a bridge: I. Experiment”, *Smart Mater. Struct.*, vol. 7, pp. 704–719, 1998.
- [5] L.G. Vargas-Alas et al., “Fiscalización del puente sobre río Chirripó, ruta nacional No. 32”, PITRA-LanammeUCR, San José, Costa Rica, LM-PI-UP-PN21-2014, Dic. 2014.

Tema IV

Vivienda social: planificación, construcción, calidad

Proyectos de Vivienda Social en Costa Rica 2011-2018

Social Housing in Costa Rica 2011-2018

Valeria Alexandra Chacón Reyes
Egresada, Universidad de Costa Rica
valeria.chacon@ucr.ac.c

Mauricio Ramírez Ramírez
Egresado, Universidad de Costa Rica
mauricio.ramirezramirez@ucr.ac.cr

Lucía Rodríguez Ramírez
Egresada, Universidad de Costa Rica
lucia.rodriguezramirez@ucr.ac.cr

Paola Rojas Álvarez
Egresada Universidad de Costa Rica
Paola.rojasalvarez@ucr.ac.cr

Andrés Mora Sandoval
Egresado, Universidad de Costa Rica
andres.morasandoval@ucr.ac.cr

Helga von Breyman
Docente e investigadora, Universidad de Costa Rica
helga.vonbreyman@ucr.ac.c

Palabras clave:

Conjuntos residenciales, Costa Rica, Morfología urbana, Vivienda de Interés Social.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la gran mayoría de proyectos de interés social en Costa Rica se han desarrollado, en zonas poco dotadas de infraestructuras y equipamientos debido a los altos costos del suelo en los sectores más céntricos de la ciudad. La selección de los terrenos para la construcción de las viviendas queda a discreción de los desarrolladores y sujeta a la verificación del cumplimiento de los requisitos por parte de la contraparte gubernamental, procedimiento que ha posibilitado el desarrollo de nuevas urbanizaciones de vivienda pública descontextualizadas y con importantes carencias. Esto resulta aún más alarmante si se toma en consideración que

anualmente se entregan aproximadamente 11.000 bonos para la construcción de Vivienda de Interés Social y que alrededor del 30% de la población nacional se ha visto beneficiada de ellos [1].

II. METODOLOGÍA

Esta investigación presenta un análisis de 5 de estos Proyectos de Vivienda Social construidos en Costa Rica entre el año 2011 y el 2018, centrandose su atención en la articulación de los conjuntos residenciales con el contexto urbano en el que se inscriben (ver figura 1). El propósito es poder mostrar, mediante el método de estudios de caso, un análisis morfológico de dichos proyectos y su contexto urbano inmediato, tomando en consideración elementos como la continuidad, conectividad y usos. Para la recolección de datos se utilizó una metodología mixta apoyada en análisis de información cartográfica y revisión de documentación.

Los resultados permiten identificar las principales carencias asociadas al desarrollo de estos conjuntos y las problemáticas en torno a la accesibilidad y usos de suelo en los ámbitos de estudio. Esta investigación permitió también identificar dificultades en cuanto a la contigüidad y continuidad urbana y sus impactos directos en el contexto en el que se circunscriben los proyectos y por consiguiente, los efectos en la calidad de vida de sus habitantes. De esta forma se busca promover reformas en los procedimientos que se siguen en la actualidad para mejorar los procesos de producción de vivienda social en Costa Rica y en la calidad de vida de sus residentes.

El estudio llevado a cabo resalta la necesidad de realizar un esfuerzo para promover la integración entre la empresa privada, el BANHVI, el INVU y los gobiernos locales para lograr que los proyectos de vivienda social cuenten con diseños permeables que eviten que se promueva la segregación física y social de los territorios donde son emplazados. Así mismo, considerar que, por la situación socioeconómica de los habitantes de los proyectos, se hace necesario incluir otros usos además del residencial dentro de los desarrollos y fomentar una mayor accesibilidad y cercanía al transporte público, transpirabilidad peatonal y acceso inmediato a los servicios más básicos.

Siguiendo a Brenner [2] “la investigación urbana debe enfocarse en los procesos mediante los cuales se generan los paisajes heterogéneos en las ciudades” y por lo tanto este tipo de investigaciones resultan de gran relevancia pues pueden convertirse en una herramienta poderosa para propiciar la diversificación de las zonas urbanizadas. Los resultados alcanzados con este estudio permitirían promover reformas en los procedimientos que se siguen en la actualidad, para mejorar los procesos de producción de vivienda social en Costa Rica y en la calidad de vida de sus residentes

Índice de siglas y acrónimos.

BANHVI: Banco Hipotecario de la Vivienda

BFV: Bono Familiar de Vivienda

CCSS: Caja Costarricense de Seguro Social

CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos

FUPROVI: Fundación promotora de la vivienda

GAM: Gran Área Metropolitana

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo

IMAS: Instituto Mixto de Ayuda Social

INVU: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo

MIVAH: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos

MUCAP: Mutual Cartago de Ahorro y Préstamo

SFNV: Sistema Financiero Nacional de Vivienda

II. FIGURAS



Fig. 1. Ubicación de los proyectos de investigación.

REFERENCIAS

- [1] FUPROVI, *Situación de la Vivienda y Desarrollo Urbano en Costa Rica*, Costa Rica, 2018.
- [2] Brenner, Tesis Sobre La Urbanización Planetaria, Argentina: *Revista Nueva Sociedad* N°243, 2013.

De la teoría a la práctica: fases ejecutadas en dos procesos de reasentamiento involuntario

From theory to practice: phase executed in two involuntary resettlement processes

Lic. Jessica Dixiana Álvarez López
Investigadora, Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible,
Universidad de Costa Rica.
e-mail: jessica.alvarezlopez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Calidad de vida, Impacto social, Parrita, Reasentamiento involuntario, Reducción del riesgo.

I. INTRODUCCIÓN

Se entiende por reasentamiento involuntario la reubicación de una parte, o de la totalidad, de la población con el fin de reducir el riesgo ante una situación específica. Dado los cambios que se generan al reasentar una comunidad, es que estos procesos deben considerar previamente, una serie de fases que incidirán en el bienestar de la población afectada; por lo que, para la presente investigación se trabajó con lo elaborado por Correa, Ramírez y Sanahuja [1] en la “Guía de reasentamiento para poblaciones en riesgo de desastre”, cuyo insumo fue indispensable para el cumplimiento del objetivo de este artículo: mostrar cuáles aspectos de las fases de la guía, fueron contempladas (o no) en los procesos de reasentamiento involuntario en las comunidades de La Loma y Valladolid (ambas en Parrita).

La importancia de considerar dichas fases yace en que éstas permiten vislumbrar cómo se planifican y llevan a cabo algunos de los proyectos de vivienda social, ante una situación específica (en este caso, el reasentamiento), y cómo éstas tiene impacto en cuestiones económicas (empleo), físicas (infraestructura comunitaria, calidad de las viviendas, etc.), sociales (cohesión social), educativas y culturales.

II. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se desarrollaron las fases previas al reasentamiento involuntario en La Loma y Valladolid?

III. RESULTADOS

Esta investigación se enmarcó dentro del proyecto “Evaluación expost de las condiciones socioeconómicas actuales y la infraestructura existente, resultantes del proceso de reasentamiento

involuntario en La Loma y Valladolid, en el cantón de Parrita” realizado por ProDUS-UCR, para la Vicerrectoría de Investigación. Por medio de la utilización de: encuestas, entrevistas a profundidad y evaluación de la infraestructura, se obtuvieron algunos de los siguientes resultados:

Fase 1: Formulación de plan de reducción de riesgo de desastre y determinación de la pertinencia del reasentamiento

En ambas comunidades el reasentamiento fue necesario, en cuanto este representó una solución para la reubicación de las familias afectadas por las inundaciones. Sin embargo, este proceso no contempló un plan de gestión del riesgo y uso de los terrenos que quedaron en desuso, provocando así que otras personas se asentaran y pusieran en riesgo ante otra eventualidad. Por ejemplo, de los 400 bonos presupuestados en La Loma, la mayoría fueron entregados a familias que provenían de Sitradique, el cual por su cercanía al río Parrita, presentaba (y sigue presentando) problemas de inundación; acá no solo no se trabajó en la prevención de riesgos futuros, sino que además se permitió la construcción de viviendas, negocios y centros educativos, habiendo actualmente una población de casi 1042 personas [1] las cuales, se repite, están expuestas a otra eventualidad de este tipo.

Fase 2. Preparación para planeación y ejecución del reasentamiento

En La Loma, la entidad encargada del proyecto de vivienda fue la Fundación Promotora de Vivienda (FUPROVI), con el apoyo presupuestario del Banco Hipotecario de la Vivienda (BAHVI). Durante esta fase se constituyó la Asociación de vecinos de Nueva Parrita integrada por personas de las zonas afectadas, siendo el enlace entre la comunidad y las instituciones. Además, se trabajó en un programa de autoconstrucción de viviendas, manifestada por medio de horas de trabajo comunal obligatorias y cuyo fin fue el involucramiento y la cohesión social.

En Valladolid el proceso de vivienda fue llevado a cabo con financiamiento del Fondo de Desarrollo Social y Asignaciones Familiares, el Ministerio de Hacienda y el BAHVI. La construcción estuvo a cargo de una entidad autorizada. Allí se trabajó bajo un modelo de “llave en mano”, realizado por etapas (aún no concluidas). No se contempló canales bilaterales de participación, por lo que el proceso hacia la comunidad era meramente informativo.

Fase 3. Fase analítica para la formulación del programa de reasentamiento

En ambas comunidades, el análisis de la situación de las personas era un mecanismo solamente para la asignación de las viviendas. No se contempló la medición del impacto que eventualmente podría tener el reasentamiento en las comunidades.

Fase 4. Formulación del programa de reasentamiento

Producto de las inundaciones que se dieron en Parrita, la municipalidad elaboró un Plan Regulador con el fin de ajustar la adquisición y los permisos de construcción, facilitando el

desarrollo de los proyectos. Sin embargo, ambas comunidades fueron construidas sobre terrenos no aptos para el asentamiento humano, resalta que no se contaba con acceso a servicios de electricidad o agua, mismos que tuvieron que ser adquiridos por las personas posterior a la entrega de viviendas. O el caso particular de Valladolid, que fue construida en un terreno que anteriormente era utilizado para la siembra de palma, lo cual lleva a que la tierra presente problemas de densidad, infiltración, porosidad y retención de humedad, aumentando así las posibilidades de inundación.

CONCLUSIONES

Algunas de las conclusiones a las que se llegó a lo largo del proceso investigativo fueron:

- La evaluación de las fases, permitió también ver diferencias en cuanto las metodologías e impacto que se tuvo con los proyectos de vivienda. En la Loma, la institución tuvo un enfoque social determinado por el abordaje y la integración de la población en los procesos de diseño y construcción, fortaleciendo la cohesión social. Por el contrario, en Valladolid el proceso se dio sin contemplar un plan de integración o impacto social, trayendo consecuencias como: problemas sociales y acceso a fuentes de empleo.
- El Plan Regulador fue una respuesta paliativa ante la situación de emergencia, por lo cual no se ajustó al contexto propio del cantón. Asunto que se refleja en que ambos proyectos se construyeran en terrenos no aptos para el asentamiento, dados las características físicas como: topografía, nivel, usos previos, densidad permisible para la construcción, entre otros; y que hacen propensos a estos terrenos a futuras inundaciones.
- Además, tras las entrevistas y revisión de algunos informes, se pudo observar que ninguno de los proyectos de vivienda contaba con acceso a servicios como: electricidad, agua potable, planta para el tratamiento de aguas negras, entre otros, los cuales fueron adquiridos por los habitantes. Tampoco se consideró el tema de transporte público, más cuando estas comunidades se encuentran del centro del cantón a 6 km (Valladolid) y 8 km (La Loma) aproximadamente, dificultando el acceso a centros de salud, centro educativos y fuentes de empleo; es decir, el impacto de esta situación fue a nivel social y económica, cuanto la calidad y disponibilidad de los mismos.
- Finalmente, es importante hacer énfasis que uno de los principios básicos de cualquier tipo de proyecto de reasentamiento, es que, por medio de la reubicación de la comunidad, las condiciones físicas, sociales y económicas, así como la calidad de vida se mantenga o se mejore. Sin embargo, la situación en La Loma y Valladolid dista mucho de lo que realmente debería haberse dado, debido a la debilidad en cuanto a los procesos que se llevan a cabo previos al reasentamiento.

REFERENCIAS

- [1] E. Correa, F. Ramírez, y H. Sanahuja, H, *Guía de Reasentamiento para poblaciones en riesgo de desastre*. DC, Estados Unidos de América: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento Washington, 2011.
- [2] Distribución geográfica de los asentamientos informales, GEOTECNOLOGIAS [En línea]. Disponible: <https://coronavirus.geotecnologias.com/app/MIVAH::4-asentamientos-informales-y-casos-covid-19-en-costa-rica>

Efecto de la relación de aspecto en muros de mampostería parcialmente rellena confinada reforzada: Ductilidad y Rigidez

Aspect ratio effect on confined partially grouted reinforced masonry walls: Ductility and Stiffness

Diego A. Hidalgo Leiva

*Coordinador Laboratorio de Ingeniería Sísmica, INII, Universidad de Costa Rica
e-mail: diego.hidalgo@ucr.ac.cr*

Andrés Picado-Arguedas

Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

Natalia Sánchez-Vargas

Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

Palabras clave:

DUCTILIDAD, Experimental, Mampostería, Muros, Rigidez.

I. INTRODUCCIÓN

La mampostería es uno de los materiales más empleados históricamente en el país para la construcción de viviendas unifamiliares o comercios de baja envergadura. El Código Sísmico de Costa Rica en su última versión (CSCR-2010/14,[1]), así como en sus versiones anteriores, presenta ecuaciones para determinar la resistencia última de los materiales, además de relaciones para definir el sismo de diseño, las cuales han demostrado una reducción en el riesgo sísmico en comparación con otros países de la región [2]. Las ecuaciones para determinar la capacidad poseen una forma que depende, en un cierto rango, de la relación de aspecto de los muros, sin embargo, las modificaciones en la rigidez y ductilidad local de los muros se muestra independiente de dicha relación.

Como parte de una investigación en curso en la cual se evalúa el desempeño y comportamiento de muros de Mampostería Parcialmente Rellena Confinada Reforzada (MPR-RC), se presentan en este documento resultados experimentales referentes a la ductilidad y los cambios en la rigidez de 5 muros construidos a escala natural, con diferente relación de aspecto (alto/largo), los cuales fueron probados por medio de ciclos de carga y descarga en el plano de los muros, hasta alcanzar el colapso.

II. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Los 5 muros fueron construidos y probados en el mismo periodo de tiempo en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. Las relaciones de aspecto y el reforzamiento empleado se muestran en la Tabla I. Adicionalmente en la Figura 1 se muestra el esquema general de instrumentación y montaje empleado en las pruebas. Una descripción detallada de los materiales, sus propiedades mecánicas y aspectos metodológicos se puede encontrar en los informes de los trabajos de graduación de los ingenieros Picado [3] y Sánchez [4].

III. DUCTILIDAD Y RIGIEZ

Para realizar el análisis de la ductilidad y la variación de la rigidez, se emplean las curvas de carga-descarga, las cuales muestran el comportamiento en histéresis de los muros. El colapso se define como el punto en el que se registra una pérdida del 20% de la capacidad máxima (V_y) [1], [5], [6], empleando un modelo bi-lineal en el cual se garantiza el equilibrio energético. De las curvas bi-lineales se obtiene del desplazamiento de fluencia (δ_y), la rigidez experimental como la pendiente de la sección elástica (K_e) la resistencia última (V_u) y el desplazamiento último (δ_u). En la Tabla II se muestran los principales resultados. Para el cálculo de la rigidez teórica ($K_{e,theo}$) se emplea siguiente ecuación:

$$IS = 100 \left(\frac{d_r}{d_p} \right)^{m_a m_r} \quad (1)$$

donde I_{eff} y A_{nv} son la inercia y el área efectivas de acuerdo con TMS 402/602-16 [7]. Los valores de E_m y G_m son definidos de acuerdo al CSCR 2010/14 [1]. Para el cálculo de la ductilidad máxima se divide el desplazamiento último entre el desplazamiento de fluencia.

Tabla 1. Dimensiones y reforzamiento de muros MPR-RC

Muro	Dimensiones		Relación de aspecto	Refuerzo vertical		Refuerzo Horizontal	
	l_w (mm)	h (mm)	h/l_w	Refuerzo Vertical	p_v	Refuerzo en sisa	p_h
M-01	5600	2845	0.508	910	0.085	410	0.079
M-02	3800	2845	0.749	610	0.089	410	0.079
M-03	2800	2845	1.016	510	0.108	410	0.079
M-04	1800	2845	1.581	310	0.118	410	0.079
M-05	1400	2845	2.032	210	0.118	410	0.079

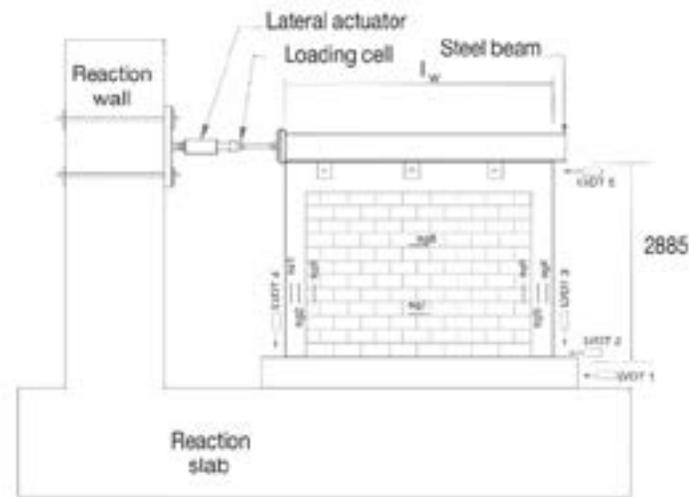


Fig. 1. Instrumentación y montaje típico en pruebas de carga paralela al plano de los muros.

Tabla II. Capacidad, rigidez y ductilidad experimental.

Muro	Dirección	V_y (kN)	δ_y (mm)	K_e (kN/mm)	$K_{e,mean}$ (kN/mm)	$K_{e,theo}$ (kN/mm)	V_u (kN)	δ_u (mm)	μ
M-01	+	495.0	8.5	57.9	53.5	454.1	394.4	48.7	5.69
	-	439.2	9.0	49.04			354.0	60.0	6.70
M-02	+	354.3	13.3	26.6	24.5	276.5	308.8	77.1	5.79
	-	315.8	14.1	22.5			284.3	60.5	4.31
M-03	+	302.7	15.3	19.8	17.7	179.1	269.5	76.7	5.01
	-	276.3	17.6	15.7			248.2	60.5	3.44
M-04	+	180.9	17.7	10.2	12.2	87.0	135.8	66.8	3.78
	-	212.6	15.1	14.1			178.7	65.0	4.31
M-05	+	171.7	23.9	7.2	5.9	54.0	133.9	116.3	4.86
	-	155.4	33.5	4.6			128.3	108.9	3.25

CONCLUSIONES

Mediante pruebas experimentales se ha determinado la rigidez elástica y la ductilidad en desplazamiento para 5 muros de MPR-RC con diferentes relaciones de aspecto. Al comparar la rigidez experimental con la teórica se observa una diferencia significativa para todos los muros, siendo siempre mayor la rigidez experimental en una proporción entre 7,13 y 11,3 veces la rigidez experimental.

La ductilidad varía entre 3.25 y 6.70 siendo máxima para el muro con una relación de aspecto de 0.5 y mínima para el muro con relación de aspecto de 2.0. No se observa una influencia directa de la relación de aspecto en la ductilidad última de los elementos ni en la diferencia entre la rigidez experimental y teórica.

De acuerdo con la clasificación del CSCR 2010/14, los muros se clasifican como elementos con ductilidad local moderada, con excepción del muro M-05, pues poseen una deriva inferior a 0.03 al punto de colapso.

REFERENCIAS

- [1] CFIA, *Código Sísmico de Costa Rica 2010* (Revisión 2014), 5ta ed. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2016.
- [2] J. A. Gutiérrez, "Seismic Risk Prevention in Costa Rica: A Successful 39 Year Experience," in *XV World Conference on Earthquake Engineering*, 2012, p. 10.
- [3] A. Picado Arguedas, "Análisis del comportamiento ante carga cíclica de muros de mampostería confinada reforzada con diferentes relaciones de aspecto," Universidad de Costa Rica, 2019.
- [4] N. Sánchez Vargas, "Verificación de la capacidad de muros de mampostería confinada reforzada al variar la relación de aspecto," Universidad de Costa Rica, 2019.
- [5] R. Park, "Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing," *Bull. NZ Natl. Soc. Earthq. Eng.*, vol. 22, pp. 155–166, 1989.
- [6] Y. Park and A. Ang, "Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete," *J. Struct. Eng.*, vol. III, no. 4, pp. 722–739, 1985.
- [7] The Masonry Society, *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures : containing TMS 402-16 Building Code Requirements for Masonry Structures (formerly also designated as ACI 530 and ASCE 5), TMS 602-16 Specification for Masonry Structures (formerly also, 2016th ed. Longmont, CO: The Masonry Society, 2016.*

Propuesta de mejoramiento a los procesos de diseño y aprobación de conjuntos residenciales de interés social

Pablo José Cerdas Gamboa
Egresado, Escuela de Ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica
e-mail: pcerdas@gmail.com

I. PROBLEMA

A lo largo de los años se ha visto como algunos proyectos de interés social financiados con fondos públicos mediante el BANHVI han tenido fallas en el funcionamiento de su infraestructura. Esto debido a que su diseño o bien el proceso constructivo del desarrollador a cargo no han sido los ideales.

Frecuentemente los problemas encontrados son, entre otros:

- Canalización de aguas residuales y/o pluviales
- Dimensionamiento de las vías de acceso
- Dimensionamiento de las aceras
- Sistema de protección contra incendios
- Dimensionamiento y acondicionamiento de las zonas de recreo o áreas comunales
- Topografía de la zona donde se ubica el proyecto
- Ubicación del proyecto lejos de focos urbanos con servicios esenciales

Todos estos proyectos han sido revisados y posteriormente aprobados por distintas instituciones como: CFIA, AYA, Cuerpo de Bomberos, Ministerio de Salud, INVU, SETENA, BANHVI, municipalidades, entre otros. Esta revisión viene desde su proceso de conceptualización inicial, mediante la revisión de planos y documentación relacionada al proyecto. Además, el CFIA ya se en carga de realizar auditorías de la calidad de la vivienda de interés social de manera bianual.

II. PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN

Al contrastar este proceso de revisión con las problemáticas anteriormente expuestas surge la pregunta que de si el proceso de revisión o que si los criterios técnicos utilizados para la revisión de planos que hacen estas instituciones son los adecuados. O bien, una vez terminadas las labores constructivas, porqué en la inspección previa a la recepción de los proyectos no ha sido posible detectar los problemas que con el tiempo se han presentado.

Para responder estas preguntas, mediante recopilación bibliográfica se esquematizaron los procesos de revisión antes mencionados. Esto con el objetivo de contrastar las verificaciones

hechas en dichos procesos con el producto terminado mediante visitas de campo. De esta forma es posible determinar se pasan por alto errores en el diseño de la infraestructura de los proyectos. O si por el contrario los diseños son correctos y están de acuerdo con la regulación establecida, pero fue más bien en el proceso constructivo que se dieron alteraciones en el diseño resultando así en la entrega de infraestructura deficiente. Para este último caso, también se investigó el proceso de recepción de las obras realizado por el BANHVI y las garantías que se exigen a los desarrolladores por su producto.

Se hizo una selección de tres proyectos del total de proyectos existentes en el país con el objetivo de realizar la visita a dichos proyectos.

El proceso de selección toma en cuenta los siguientes criterios:

- Los proyectos deben ser de menos de 51 soluciones habitacionales por etapa
- Proyectos deben haber sido construidos después del año 2011
- Debe haber un proyecto localizado en un lugar con un alto nivel de desarrollo urbano, otro en un lugar con un desarrollo urbano medio y finalmente uno ubicado en un lugar con poco desarrollo urbano.
- Un proyecto debe estar una zona plana, otro en una zona de pendientes moderadas y finalmente uno en una zona de pendientes pronunciadas.

Los proyectos seleccionados son:

- Villas del Boque, ubicado en Pacayas de Cartago.
- Valladolid, Ubicado en Parrita.
- Nuevo milenio, ubicado en Alajuelita

III. RESULTADOS

Es importante mencionar que ya existen instituciones que velan por la calidad de la vivienda social, como lo es el CFIA pues realiza auditorias bianuales de la calidad de la vivienda de interés social. Sin embargo, estas auditorias están enfocadas en la calidad constructiva de las viviendas. Esto propicia que omisiones en la infraestructura del proyecto queden fuera del alcance de dichas auditorías. Por este motivo se sugiere al CFIA incorporar el estado de la infraestructura del proyecto como un aspecto a revisar en sus auditorias.

Luego de haber esquematizado y analizado el proceso de aprobación diseño y el proceso mediante el cual el BANHVI compra estos proyectos, se encontraron en este último punto débiles los cuales permiten la compra de proyectos con deficiencias en su infraestructura, como se explica en los siguientes párrafos.

El BANHVI no tiene ningún reglamento o directriz que establezca las características mínimas de infraestructura que deben tener los proyectos para poder ser financiados, esto ocasiona que en muchos casos se omite la construcción de infraestructura como muros de retención, parques

infantiles, áreas de recreo o se recibe infraestructura con dimensionamiento incorrecto. Se sugiere la creación de un reglamento para tal propósito.

Las entidades autorizadas realizan revisión características y costos del proyecto y en muchos casos omisiones en la labor de estas instituciones resultan la compra de proyectos con infraestructura deficiente o faltante. Por esto se sugiere la creación de un sistema de evaluación de la gestión realizada por estas entidades que sienten responsabilidad en ellas y en caso de que una mala gestión conduzca a la compra de un proyecto con infraestructura deficiente.

El alto costo de la tierra junto con pocos criterios y exigencias por parte del BANHVI propician la compra de proyectos construidos en terrenos cuyas características no son las óptimas para satisfacer a la población ya sea por su ubicación alejada de los servicios esenciales o por su topografía de difícil acceso o por que se encuentran en una zonificación no apta para el uso residencial.

Debe ampliarse de la cobertura y tiempo de garantía de las obras, esto porque hay casos en que los problemas detectados son debidos a procesos constructivos deficientes por parte del desarrollador, pero son detectados una vez que la garantía de un año ha expirado.

Se sugiere la implementación de un sistema de calificación de la calidad de las obras entregadas por el desarrollador. Este sistema permite detectar que desarrolladores realizan prácticas constructivas indebidas que resultan en infraestructura deficiente y de esa manera penalizarlos mediante un periodo en de tiempo en el que no podrán licitar para la construcción de nuevos proyectos hasta que rectifiquen sus prácticas constructivas.

CONCLUSIONES

- Es necesario que además de las viviendas, se evalué la infraestructura en las auditorías realizadas por el CFIA.
- Se necesitan requerimientos más estrictos sobre la cantidad y características de la infraestructura que deben tener los proyectos vendidos al SFNV.
- Es necesario implementar un sistema que evalué la gestión que hacen las entidades, pues hay varias revisiones que estas deben hacer para evitar la compra de proyectos con problemas, pero que no están siendo efectivas
- Las pocas exigencias que hay actualmente en cuanto a características y ubicación de terrenos han permitido la compra de proyectos ubicados en zonas no apropiadas. Por ello es necesario que el BANHVI emita un reglamento respecto a este tema.
- Muchos de los problemas observados pudieron haber sido solucionados si el periodo de garantía de las obras hubiese sido mayor y si las obras de infraestructura también hubiesen estado cubiertas por esta.

Estrategia integral para el abordaje de la vivienda social en Costa Rica

Comprehensive strategy to approach social housing in Costa Rica

Dania María Chavarría Núñez
Directora de Posgrado en Arquitectura, docente e investigadora,
Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica
e-mail: dania.chavarríanunez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Costo, demanda, factibilidad, oferta, participación comunitaria, vivienda social.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país se identifican una serie de problemáticas asociadas a la producción de vivienda de interés social y a la construcción e integración del hábitat en torno a estas viviendas. Desde el punto de vista del Derecho a la Ciudad, la posibilidad de contar con acceso a la vivienda, es un componente clave para ejercer este derecho, principalmente en el contexto de la crisis sanitaria actual. Para lograr una atención oportuna de los requerimientos de los diferentes estratos de la población, se necesita de propuestas apropiadas de desarrollo urbano y ordenamiento territorial, en estrecha correspondencia con políticas de Estado, que destaquen las prioridades en cuanto a la ubicación adecuada de la vivienda en su relación con las actividades que dan origen a la dinámica de la ciudad.

La vivienda tiene un peso importante en la construcción del hábitat y la configuración de entornos de relaciones sociales, además de que, por el impacto que tiene la construcción residencial en el sector productivo del país, representa un aporte importante para la reactivación económica. Por su parte, en el caso específico de la vivienda de interés social, la misma tiene un peso importante, ya que según datos del BAHNVI [1], desde la creación del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (SFNV) en el año 1986 y hasta el año 2019, se han entregado más de 380.000 bonos familiares de vivienda (BFV), lo que representa aproximadamente la cuarta parte del parque habitacional existente en el país.

II. METODOLOGÍA

La construcción del hábitat a partir de la vivienda, contribuye a fortalecer la interacción simultánea del contexto ambiental, económico y social, especialmente si se aborda desde una propuesta que, en la integración de dichas variables, consiga alejarse del modelo actual, donde la vivienda tiende a considerarse como un simple bien mercantil y por el contrario posicionarla

como una oportunidad para la inclusión social. En este sentido, la principal pregunta que se busca responder a partir de la investigación es: ¿Cómo integrar la oferta y la demanda mediante el desarrollo de una propuesta integral para la atención de la vivienda de interés social en Costa Rica?

En primer lugar, para la construcción de una propuesta integral, se considera oportuno abordar el tema a partir de tres ejes, el primero asociado al incremento de los costos de las soluciones de vivienda, lo que dificulta las posibilidades de atender de manera eficiente y eficaz el déficit habitacional existente en el país, tanto cuantitativa como cualitativamente. El segundo eje se relaciona con la necesidad de establecer procesos adecuados para el análisis de factibilidad para la gestión y desarrollo de proyectos de vivienda de interés social, con la finalidad de definir de forma previa, la viabilidad y pertinencia de desarrollo de un proyecto. Por último, el tercer eje se orienta a destacar la importancia y el impacto que tienen los procesos participativos y de organización comunitaria, en la reducción de los costos de los proyectos, al facilitar que los beneficiarios finales de las viviendas, aporten al involucrarse en todas las fases de desarrollo de sus soluciones habitacionales.

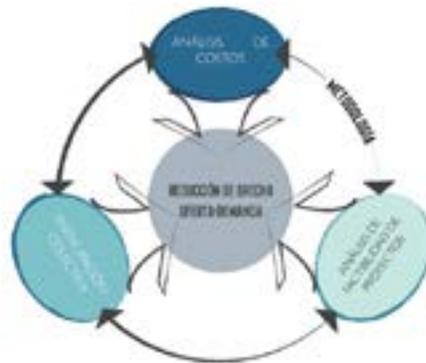


Fig. 1. Integración de componentes de la investigación. Fuente: Hacia una propuesta integral para la vivienda social en Costa Rica. Análisis de las variables: accesibilidad financiera, factibilidad y participación ciudadana comunitaria, D. Chavarría

La estrategia de investigación se estructura partiendo del “estudio de los diferentes componentes de la inversión y de la tramitología dentro del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda” [2, p. vii], lo que permite establecer el impacto que tienen dichos componentes sobre el costo final de las soluciones desarrolladas con bono familiar de vivienda. Seguidamente a través del estudio de un caso concreto, se exponen los alcances que tiene la factibilidad en los proyectos habitacionales, como mecanismo para optimizar los costos previos y tiempos de desarrollo de los mismos. Finalmente, mediante la aplicación de un caso concreto, se pone en evidencia el impacto que puede llegar a tener el aporte comunitario y participación de los beneficiarios en la gestión y desarrollo de un proyecto de vivienda de interés social.

III. RESULTADOS

Considerando la necesidad de articular estos tres ejes, se define una estrategia de verificación de cumplimiento de los objetivos de la investigación, a partir de la evaluación de variables de

carácter cualitativo, con el fin de demostrar como mediante la integración de los tres componentes analizados, es posible generar un efecto significativo en la reducción de la brecha existente entre la oferta y la demanda, especialmente en el caso de proyectos de vivienda de interés social.

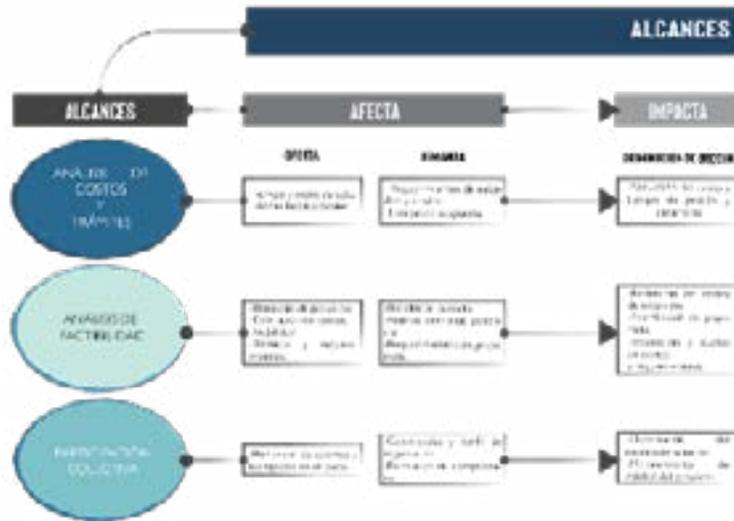


Fig. 2. Diagrama relaciones alcances, afectación e impactos. Fuente: Hacia una propuesta integral para la vivienda social en Costa Rica. Análisis de las variables: accesibilidad financiera, factibilidad y participación ciudadana comunitaria, D. Chavarría.

Se concluye que la generación de una propuesta integral para el abordaje de la vivienda de interés social en Costa Rica, dependerá en gran medida de la forma que en estos componentes sean gestionados, la cual debe enfocarse en lograr que la importante inversión que realiza el Estado en vivienda social, supere la dotación de una vivienda y que se convierta en una oportunidad para generar posibilidades de inclusión social, mejorando la calidad de vida de las familias beneficiarias y la dinámica de su entorno.

REFERENCIAS

- [1] BANHVI. Portal del Banco Hipotecario y de Vivienda. de <https://www.banhvi.fi.cr/bono/> (31 de mayo de 2020)
- [2] D, Chavarría, “Hacia una propuesta integral para la vivienda social en Costa Rica. Análisis de las variables: accesibilidad financiera, factibilidad y participación ciudadana comunitaria”, Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2020.

Evaluación de las condiciones socioeconómicas y la infraestructura de dos proyectos de reasentamiento involuntario

Evaluation of the socioeconomic conditions and infrastructure of two involuntary resettlement projects

Luis Manuel Zamora González
Docente de la Universidad de Costa Rica (UCR)
e-mail: luis.zamoragonzalez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Desastres naturales, evaluación expost, infraestructura, proyectos de interés social, reasentamiento involuntario, caracterización socioeconómica, Valladolid, La Loma, Parrita.

I. INTRODUCCIÓN

Costa Rica es un país donde se presentan desastres naturales y en muchos casos se requiere el desplazamiento obligatorio – involuntario de una población.

El reasentamiento debe ser “una gestión planificada para mejorar o al menos restablecer, de manera sostenible, las condiciones socioeconómicas y estándares de vida de la población desplazada, sin impactar negativamente a la población que continuará viviendo en la zona intervenida ni a las poblaciones receptoras, e integrando a las poblaciones reasentadas con las receptoras” [2, p.42]

El cantón de Parrita, debido a su constante afectación por inundaciones, ha experimentado distintos procesos de reasentamiento involuntario desde la década de 1990, por lo que se seleccionaron dos de estos proyectos, La Loma y Valladolid, para valorar los procesos de reasentamiento involuntario utilizando la “Guía de reasentamiento para poblaciones en riesgo de desastre” [3]. Esta determina una serie de pasos que deben seguirse en cuatro fases.

Debido a la poca información disponible de estos procesos en el país, no solo se requiere revisar lo que se ha realizado, sino hacer una evaluación expost para determinar la situación actual de estas comunidades. Esto permite evidenciar el proceso de reasentamiento, sus consecuencias y sus posibilidades de desarrollo en el futuro.

“La evaluación expost constituye una valoración general, que integra la recolección y análisis sistemático de evidencias para mejorar el entendimiento del objetivo evaluado para tener capacidad de emitir opiniones respecto al mismo” [1, p.13] Para el caso de estudio se realizaron visitas a los asentamientos para recolectar información de campo, entrevistas a funcionarios de instituciones y empresas, entrevistas y encuestas a los habitantes, y una revisión bibliográfica.

II. RESULTADOS

La escogencia se realizó para evaluar procesos de reasentamiento involuntario de poblaciones afectadas por inundaciones, sin embargo, en ambos casos también se ubicaron familias por otras razones. A partir de la recopilación de información para reconstruir y comparar el proceso llevado a cabo en un inicio con los lineamientos teóricos, en Valladolid prácticamente no se realizó ninguna fase, mientras que, a pesar de ser un proyecto con mayor antigüedad, en La Loma se cumplieron dos.

Muchos de los habitantes de los proyectos fueron reasentados porque las zonas que habitaban presentaban problemas de inundación, sin embargo, en Valladolid, el 27% presenta problemas por inundación.

Tabla 1. Información sobre el empleo en los asentamientos, año 2017.

Porcentaje de desempleo por categoría	Valladolid	La Loma	Datos de desempleo nacional en zonas rurales (INEC, IV trimestre 2017)
Total	12,50%	14,30%	9,50%
Hombres	9,10%	8,69%	7,50%
Mujeres	14,70%	17,00%	12,30%
Total jefes/jefas de hogar	7,40%	12,80%	
Total jefes de hogar	6,25%	9,52%	
Total jefas de hogar	9,10%	16,67%	
Porcentaje de empleos informales			La rama económica de la ocupación predominante antes y al vivir en los proyectos es la misma: los hombres en agricultura y ganadería, y la mujeres, en servicio doméstico.
Total de jefes/jefas de hogar	59%	44%	
Jefes de hogar	75%	52%	
Jefas de hogar	36%	33%	

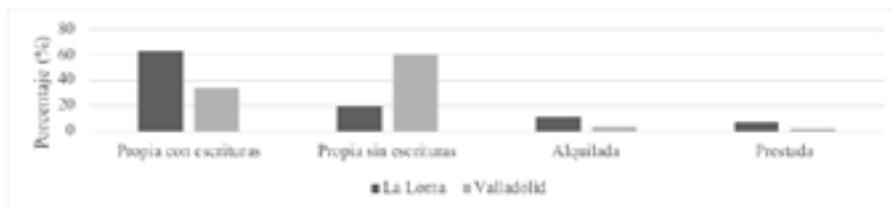


Fig. 1. Situación con las viviendas en La Loma y Valladolid (Año 2017).

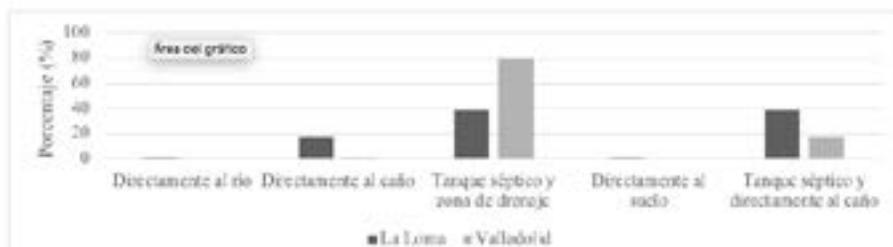


Fig. 2. Tratamiento y disposición de aguas residuales ordinarias en La Loma y Valladolid (Año 2017).

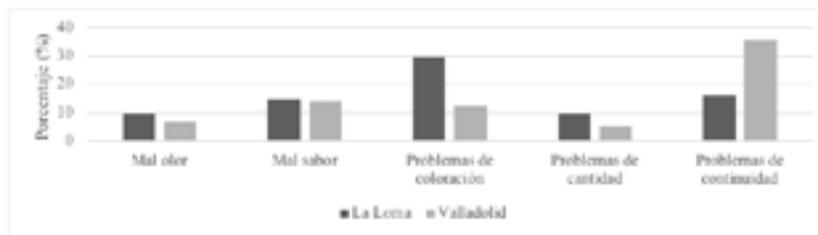


Fig. 3. Problemas con el abastecimiento de agua en La Loma y Valladolid (Año 2017).

CONCLUSIONES

- Los cambios en la gestión de proyectos de vivienda tienen implicaciones negativas.
- Hay una ausencia de coordinación interinstitucional para el desarrollo y seguimiento de estos proyectos.
- No se trata solo de construir infraestructura, debe darse un abordaje desde la perspectiva social para integrar y mejorar la calidad de vida de la población reasentada.
- Hay urgencia de un nuevo plan regulador, pues el vigente tiene como base el problema de inundaciones, pero no con estudios recientes, y no hay claridad en la planificación territorial.
- Las condiciones socioeconómicas de Parrita se mantienen en su mayoría críticas con el paso de los años y aún así, se continúan construyendo proyectos de interés social o reasentamientos sin un plan de desarrollo económico.
- Ambos proyectos tienen problemas con los servicios, la infraestructura y su funcionamiento.

RECONOCIMIENTO

Proyecto (B7353) “Evaluación expost de las condiciones socioeconómicas actuales y la infraestructura existente, resultantes del proceso de reasentamiento involuntario en La Loma y Valladolid en el cantón de Parrita” realizado por ProDUS-UCR, con fondos de la Vicerrectoría de Investigación.

REFERENCIAS

- [1] Agencia de Cooperación Internacional del Japón y Ministerio de Economía y Finanzas de Perú, “*Pautas Generales para la Evaluación Expost de Proyectos de Inversión Pública*”. Biblioteca Nacional de Perú, 2012.
- [2] Correa, E, “*Curso Latinoamericano en Reasentamiento Involuntario*”. Pontificia Universidad Católica de Perú – Banco Mundial, Lima, noviembre 2013.
- [3] Correa, E; Ramírez, F y Sanahuja, H., “*Guía de Reasentamiento para poblaciones en riesgo de desastre*”, Washington DC, Estados Unidos de América: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, 2011.
- [4] INEC, “Encuesta Continua de Empleo al cuarto trimestre de 2017”, San José, febrero, 2018.

Hacinamiento y conflictos normativos: incertidumbres existentes en el modelo de vivienda social en Costa Rica

Kevin Viales Montero
Investigador, Programa de Investigación en Desarrollo
Urbano Sostenible (ProDUS-UCR)

Palabras clave:

Ámbitos de la vivienda, área mínima, diseño funcional, hacinamiento, política de vivienda, reglamento de construcción, vivienda social, vivienda en altura.

I. INTRODUCCIÓN

El Estado costarricense viene emprendiendo desde la última década esfuerzos importantes para direccionar el desarrollo urbano del país, mediante las actualizaciones de los principales reglamentos a cargo del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, así como la elaboración de Políticas Nacionales relacionadas con el Ordenamiento Territorial (PNOT), el Desarrollo Urbano (PNDU) y la Vivienda y los Asentamientos Humanos (PNVAH) por parte del Ministerio rector en la materia. Con respecto a la vivienda de interés social (referida en adelante como vivienda social), la PNVAH es clara en establecer, entre otros temas, los lineamientos para impulsar la formulación de tipologías que garanticen una vivienda adecuada y con criterios arquitectónicos para humanizarla [6], tal como se muestra a continuación en unos extractos de dicha política: (1) Lineamiento 3.7.1 “Se impulsará el diseño arquitectónico de proyectos de vivienda de interés social que contemplen la diversidad y las necesidades funcionales de la población...” [6, p.72]. (2) Lineamiento 3.8.1 “El Estado velará porque las viviendas de interés social se desarrollen con parámetros de calidad, acorde a la normativa y mejores prácticas constructivas” [6, p.73].

De esta manera, resulta clara la importancia que ejercen los parámetros de calidad y las normativas encargadas de regular los diseños de la vivienda social, sin embargo, la realidad de los criterios de diseño empleados hasta el momento en la regulación nacional, definen un modelo oficial de vivienda que dista mucho de los objetivos proyectados por parte de la PNVAH, especialmente si se buscan aplicar a proyectos de densificación habitacional y construcción de vivienda en altura.

Debido a esta problemática, para el desarrollo del presente trabajo se analizaron los lineamientos de diseño contenidos en el marco normativo que define explícitamente el modelo de vivienda social en el país (Directriz 27, Reglamento de Construcciones, Normas especiales de construcción para vivienda progresiva y conjuntos residenciales), en comparación con criterios técnicos desarrollados en países con una amplia tradición en el estudio de la vivienda social. Con esto fue posible identificar carencias

importantes y establecer argumentos para justificar la actualización de regulaciones relacionadas con el diseño de dicho modelo de vivienda.

II. CONCEPTOS INDISPENSABLES PARA LA VIVIENDA SOCIAL

De acuerdo con numerosos criterios internacionales [3], dos de los principales factores involucrados en determinar la calidad del habitar dentro de la vivienda social, corresponden a los temas de las dimensiones mínimas (asociado con los ámbitos de la vivienda) y el hacinamiento. Los cuales presentan serias deficiencias en las normativas actuales del país.

Según Montaner, Muxí y Falagán [4], a nivel interno la vivienda puede comprenderse como un conjunto de ámbitos, donde el equipo o mobiliario necesario para satisfacer las demandas de sus actividades determinan su nivel de flexibilidad en el habitar (ver Fig. 1). De estos tipos de espacios, los ámbitos complementarios constituyen un componente importante dentro de la vivienda, pues según su función pueden articular la circulación entre espacios, permitir el almacenamiento asociado a ámbitos específicos, o adecuar la gestión de labores asociadas a la higiene y la limpieza que requieren de contacto con el exterior.

En cuanto al tema del hacinamiento, las sociólogas Lentini y Palero [5] definen este factor como la condición físico-espacial que altera la privacidad y el libre movimiento de los habitantes dentro de la vivienda; y no sólo como una relación entre número de habitantes por habitación. De acuerdo con las autoras, esta condición puede generar en la convivencia familiar, situaciones de estrés psicológico, favorecer la propagación de enfermedades infecciosas y afectar las necesidades de crecimiento y rendimiento escolar en menores de edad.

III. HALLAZGOS

Luego de analizar la normativa nacional a través de los conceptos mencionados, se identificaron 3 condiciones importantes que requieren de un replanteamiento técnico. En primer lugar, el área mínima definida para la vivienda social en Costa Rica excede los límites críticos de área habitable definidos en países con amplia tradición en el estudio de vivienda mínima (ver Fig. 2). En segunda instancia, los criterios que establecen los espacios mínimos de la vivienda social en regulaciones costarricenses, no incluyen las funciones y tipos de espacios de componen una unidad habitacional, especialmente al omitir los ámbitos complementarios de almacenamiento, en cualquier tipo de regulación existente para viviendas. Además, debe sumarse que el indicador aplicado actualmente por el Estado para medir el hacinamiento en una vivienda [1] resulta altamente limitado, pues no considera los aspectos de movimiento y privacidad mencionados anteriormente, los cuales resultan muy afectados por las dimensiones mínimas que se establecen para habitaciones, cuartos de baño, y cocina principalmente (ver Fig. 3).

Finalmente se observó que, como resultado de las actualizaciones realizadas a los reglamentos de construcciones y de fraccionamientos por parte del Estado, se eliminaron (de manera accidental

aparentemente) las normas que definían las dimensiones mínimas para los distintos ámbitos de la vivienda social. Esta situación conlleva serios problemas ante un vacío normativo, claramente identificable en el artículo 154 del Reglamento de Construcciones [2].

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Es evidente que el modelo de vivienda de social definido en la regulación costarricense no está adaptado a un modelo de construcción en altura y además propicia condiciones de hacinamiento debido a la carencia de ámbitos que conforman la vivienda y a las dimensiones mínimas que define para sus espacios. Por lo que la necesidad de actualizar la normativa de vivienda social es urgente, especialmente al observar propuestas recientes presentadas por el Estado, de viviendas sociales de huella pequeña en altura.

Este reto requiere de soluciones de diseño efectivas que presenten un buen aprovechamiento del espacio, tanto en el plano horizontal como en el vertical, a fin de mantener un balance entre los requerimientos funcionales de la vivienda y su costo constructivo. Además, requiere de un compromiso real por parte de las instituciones del Estado, para hacer cumplir criterios de diseño que buscan un modelo de vivienda humanizada, y resistir las presiones de presupuesto que en la gran mayoría de los casos limitan su desarrollo.



Fig. 1. Tipos de ámbitos que componen la vivienda. Fuente: elaboración propia.



Fig. 2. Comparación de valores de superficie mínima para vivienda. Fuente: elaboración propia con datos de las referencias indicadas en este escrito [2] [4] [7].

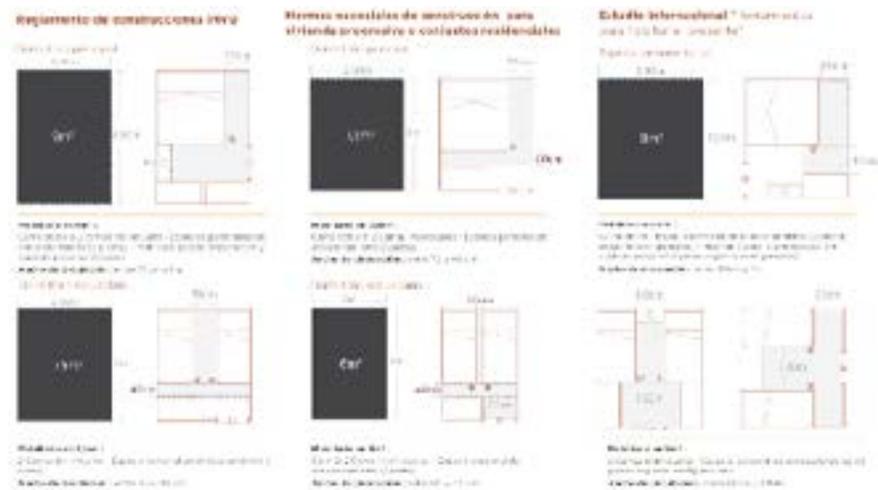


Fig. 3. Comparación de dimensiones mínimas de espacios habitables. Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Encuesta Nacional de Hogares. San José, Costa Rica, 2019. [en línea]. Disponible en: <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reenaho2019.pdf>
- [2] Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, Reglamento de Construcciones. San José, Costa Rica, 2018. [en línea]. Disponible en: <https://www.invu.go.cr/reglamentos>
- [3] J. Montaner, *La arquitectura de la Vivienda Colectiva*. Barcelona, España: Editorial Reverté, 2015.
- [4] J. Montaner, Z. Muxí, y D. Falagán, *Herramientas para habitar el presente. La vivienda del siglo XXI*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [5] M. Lentini y D. Palero, “El Hacinamiento: La Dimensión no visible del déficit habitacional”, *Revista INVI*, vol. 31, no. 12, pp. 23-32, [en línea]. Disponible en: <http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/220/742>
- [6] Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos 2013 a 2030 y su plan de acción. San José, Costa Rica, 2014. [en línea]. Disponible en: https://www.mivah.go.cr/Biblioteca_Políticas_Politica_y_Plan_Nacional_Vivienda.shtml
- [7] D. Fiscarelli, Recursos Tecnológicos y Tipológicos para la adaptabilidad en la vivienda social contemporánea argentina. *V Congreso Regional de Tecnología de las Facultades del Arquisur*, Argentina, Buenos Aires, 2012. Fuente: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36607/Documento_completo.pdf?sequence=3

Tema V
Conversión, reconversión y
aprovechamiento de recursos
naturales

Producción de celulasas por *Trichoderma sp*, utilizando biomasas lignocelulósicas pretratadas como sustrato

Cellulase production by *Trichoderma sp* using pretreated lignocellulosic biomass as substrate

Marcel Albán Jiménez Fallas

Estudiante de la Escuela de Ingeniería Química, UCR

e-mail: marcel.jimenezfallas@ucr.ac.cr

Johanna Méndez Arias, PhD.

Coordinadora, Laboratorio de Recursos Forestales, INII, UCR

e-mail: johanna.mendezarias@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Biomasas lignocelulósicas, celulasas, hongos filamentosos, pretratamiento, *Trichoderma sp*.

I. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola costarricense tiene un gran potencial para producción de energía a partir de residuos agrícolas orgánicos, que se han venido estudiando con el fin de sustituir otras fuentes convencionales como los hidrocarburos [1]. Durante las últimas décadas se ha abordado la producción de biocombustibles de segunda generación, los cuales se producen a partir de los azúcares liberados de diferentes residuos agroindustriales, por ejemplo el bioetanol [2]. Las enzimas microbianas con actividad celulasa juegan un papel vital en la obtención de estos azúcares, y actualmente se realizan esfuerzos para identificar y desarrollar enzimas altamente eficientes que logren reducir el costo de su obtención, que es un importante cuello de botella económico en la producción de biocombustibles [3]. En este trabajo se utilizaron biomasas lignocelulósicas de bagazo de caña y raquis de plátano para la producción de celulasas con hongos del género *Trichoderma*.

II. METODOLOGÍA

Previo a su utilización, las biomasas fueron pretratadas. Primero se realizó un pretratamiento con H₂SO₄ al 1.09 % (v/v), según la metodología de [4], con el fin de separar la fracción de hemicelulosa. Posteriormente, se realizó un pretratamiento alcalino para separar la lignina. Los materiales se sumergieron en NaOH al 4 % (m/v), según la metodología de [5]. Además, las biomasas fueron caracterizadas con base en los reportes del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (NREL) [6], [7] y en los estándares de la Asociación Técnica

de la industria de la Pulpa y el Papel de los Estados Unidos [8], [9]. En la Fig 1 se muestran las biomásas lignocelulosas con y sin pretratamientos.

Se utilizó el hongo *Trichoderma longibrachiatum* para evaluar su producción de enzimas utilizando ambas biomásas como sustrato. Se utilizó el medio base propuesto por [10] y siguiendo las metodologías de [11] y [12]. Posteriormente se cuantificó la actividad endo-glucanasa, exo-glucanasa, β -glucosidasa y actividad en papel filtro de acuerdo con lo propuesto por [13].

III. RESULTADOS

Los resultados de la caracterización se muestran en la Tabla I. Con los pretratamientos se logró remover la mayor parte de la hemicelulosa de ambas biomásas y cerca del 50% y 40% de lignina del raquis de plátano y del bagazo de caña, respectivamente. Lo anterior permite mejorar el acceso de las enzimas al sustrato, además se reducen las diferentes interacciones entre estas y la lignina, lo cual permite un mejor rendimiento en el proceso [14], [15].

Tabla I. Composición de las biomásas lignocelulósicas.

Componente	Raquis de plátano						Bagazo de caña					
	Sin pretratar			Pretratado			Sin pretratar			Pretratado		
Celulosa, C / (% m/m)	39.73	\pm	1.77	74.54	\pm	2.43	41.07	\pm	0.49	75.91	\pm	1.79
Hemicelulosa, H / (% m/m)	22.27	\pm	0.39	3.64	\pm	1.10	15.50	\pm	0.20	1.06	\pm	0.25
Lignina, L / (% m/m)	17.88	\pm	0.64	9.35	\pm	0.20	24.38	\pm	0.62	14.37	\pm	0.83

Se obtuvieron mayores valores de actividad enzimática utilizando bagazo de caña. Además, se comprobó que el hongo *T. longibrachiatum* produjo enzimas endo-glucanasas que cortan al azar en las regiones amorfas de la celulosa, también exo-glucanasas que actúan sobre los extremos reductores y no reductores del sustrato, y en menor proporción produjo enzimas β -glucosidasas que hidrolizan la celobiosa para obtener glucosa [16]. Los resultados para cada actividad se detallan en la Tabla II.

A pesar de que el hongo *T. longibrachiatum* produce los principales tipos de celulasas, se puede ver que la cantidad obtenida de β -glucosidasa fue baja. Este cóctel enzimático puede complementarse con enzimas producidas por hongos de otros géneros que deben ser investigados, a su vez es necesario determinar la proporción de enzimas necesarias para obtener un cóctel balanceado.

El bagazo de caña pretratado es un material lignocelulósico con gran potencial para ser utilizado como sustrato en la producción de celulasas, y los resultados obtenidos son comparables con los de otros estudios realizados con hongos del mismo género.

Tabla II. Producción de celulasas por *Trichoderma Longibrachiatum*.

Biomasa	Actividad enzimática			
	Endo glucanasa / (U/L)	Exo glucanasa / (U/L)	β -glucosidasa / (U/L)	FPU / (U/L)
Raquis de plátano	161 horas	137 horas	89 horas	161 horas
	463.22 \pm 10.54	192.39 \pm 25.06	103.93 \pm 21.65	46.26 \pm 9.61
Bagazo de caña	113 horas	113 horas	137 horas	137 horas
	768.45 \pm 46.84	214.94 \pm 52.48	180.74 \pm 21.60	137.78 \pm 14.76



Fig 1. Biomasa lignocelulósica de bagazo de caña (a) y raquis de plátano (b); sin pretratar (1), luego del pretratamiento ácido (2) y posterior al pretratamiento alcalino (3).

REFERENCIAS

- [1] O. Coto, "Informe de Consultoría Producto 2: Prácticas Actuales de Tratamiento y Disposición de los Residuos Agrícolas Orgánicos en Costa Rica", p. 69, 2013.
- [2] C. Charpentier Alfaro y J. Méndez Arias, "Enzymatic conversion of treated oil palm empty fruit bunches fiber into fermentable sugars: optimization of solid and protein loadings and surfactant effects", *Biomass Convers. Biorefinery*, may 2020.
- [3] X. Ju, M. Bowden, M. Engelhard, y X. Zhang, "Investigating commercial cellulase performances toward specific biomass recalcitrance factors using reference substrates", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 98, núm. 10, pp. 4409–4420, may 2014.
- [4] G. J. Vargas Betancur y N. Pereira Jr., "Sugar cane bagasse as feedstock for second generation ethanol production. Part I: Diluted acid pretreatment optimization", *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 13, núm. 3, may 2010.
- [5] M. P. Vásquez, J. N. C. da Silva, M. B. de Souza, y N. Pereira, "Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation", *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 137–140, núm. 1–12, pp. 141–153, abr. 2007.
- [6] B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, A. Sluiter, J. Sluiter, y D. Templeton, "Preparation of Samples for Compositional Analysis: Laboratory Analytical Procedure (LAP); Issue Date 08/08/2008", núm. August, 2008.
- [7] B. Hames *et al.*, "Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass", 2012.

- [8] TAPPI, “Water solubility of wood and pulp”, *Quality*, pp. 6–8, 1999.
- [9] TAPPI, “Acetone extractives of wood and pulp”, *Tappi*, pp. 5–7, 1999.
- [10] M. Mandels y J. Weber, “*The Production of Cellulases*”, pp. 391–414, 1969.
- [11] R. N. Maeda, M. M. P. da Silva, L. M. M. Santa Anna, y N. Pereira, “Nitrogen Source Optimization for Cellulase Production by *Penicillium funiculosum*, using a Sequential Experimental Design Methodology and the Desirability Function”, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 161, núm. 1–8, pp. 411–422, may 2010.
- [12] H. N. Prasanna, G. Ramanjaneyulu, y B. Rajasekhar Reddy, “Optimization of cellulase production by *Penicillium sp.*”, *3 Biotech*, vol. 6, núm. 2, p. 162, dic. 2016.
- [13] T. K. Ghose, “Measurement of cellulase activities”, *Pure Appl. Chem.*, vol. 59, núm. 2, pp. 257–268, ene. 1987.
- [14] R. R. Gonzales, P. Sivagurunathan, y S.-H. Kim, “Effect of severity on dilute acid pretreatment of lignocellulosic biomass and the following hydrogen fermentation”, *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 41, núm. 46, pp. 21678–21684, dic. 2016.
- [15] W. Ying, Z. Shi, H. Yang, G. Xu, Z. Zheng, y J. Yang, “Effect of alkaline lignin modification on cellulase–lignin interactions and enzymatic saccharification yield”, *Biotechnol. Biofuels*, vol. 11, núm. 1, p. 214, dic. 2018.
- [16] I. Gutiérrez-Rojas, N. Moreno-Sarmiento, y D. Montoya, “Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos”, *Rev. Iberoam. Micol.*, vol. 32, núm. 1, pp. 1–12, ene. 2015.

Cocina gasificada para aprovechamiento de biomasa residual

Wood gas stove fueled with residual biomass

Dennis Elizondo Montoya
Tesista y Asistente, Escuela de Ingeniería de Biosistemas.
Unidad de Recursos Forestales, INII.
e-mail: dennis.elizondo@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Bioenergía, biomasa, cocción, emisiones, estufa gasificada.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad un tercio de la población mundial depende del uso de biomasa para cocinar sus alimentos, esto corresponde aproximadamente a 2500 millones de personas, para quienes la fuente energética más utilizada proviene de la madera y el carbón. La utilización de este tipo de biomasa en procesos de combustión tiene severas implicaciones sobre la salud, productividad y el ambiente [1]; anualmente más de 3 millones de personas mueren a nivel mundial por afectaciones directas al sistema respiratorio y cáncer [2], debido al contenido de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxido de azufre (SO) y materia particulada en los gases liberados por la combustión de biomasa [3]. Este fenómeno se da principalmente en países en desarrollo donde el acceso a energía moderna para necesidades básicas de cocción, iluminación y potencia de bajo voltaje es limitado [4].

Para reducir esta problemática lo ideal es la transición a gas o electricidad; sin embargo, el panorama no está por cambiar en los años venideros dado a que esas opciones son económicamente inaccesibles para las poblaciones más vulnerables [5]. Desde mediados del siglo XIX y hasta la fecha, múltiples iniciativas alrededor del mundo han impulsado la implementación de estufas mejoradas en zonas de déficit energético [4], [6]–[8], en busca de reducir significativamente las emisiones, para resguardar la salud de los usuarios y hacer uso eficiente de los recursos biomásicos como fuente energética (contrarrestando la degradación de los bosques y su deforestación) [9]. Entre la diversidad de estufas mejoradas destacan los gasificadores de pequeña escala, referidas en este texto como estufas gasificadas.

La gasificación es una conversión termoquímica de materiales sólidos o líquidos con alto contenido de carbono [10], a combustible gaseoso, denominado gas de síntesis; se da en una atmósfera con el suplemento de oxígeno controlado, generalmente a un 35% o menos de la cantidad requerida teóricamente para la combustión completa, estas condiciones generan calor y una serie de reacciones químicas, de forma simultánea, dando lugar a la formación de carbón y gases volátiles (incluido el gas de síntesis), mientras se consume el material carbonoso [10] [11]. Desde una

perspectiva económica y ambiental, la gasificación es una alternativa promisoriosa y superior para la utilización de biomasa como combustible, en comparación con la combustión [12]. La en pequeños reactores o microgasificación, es un término que se ha venido acuñando desde antes de los años 90, las cocinas mejoradas con el principio de gasificación son una novedad en la producción de energía térmica para la cocción y su uso aún no se ha expandido, son especialmente útiles en zonas rurales de países en desarrollo [13].

II. METODOLOGÍA

El presente estudio forma parte del proyecto de investigación “*Incremento de la eficiencia de las cocinas de leña mediante la utilización de técnicas de gasificación*”, presentado ante la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, y adjudicado al Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII). Se aborda el diseño, construcción y evaluación a nivel de laboratorio de una estufa biomásica para gasificación. Procura solventar algunas carencias presentes en la mayor parte de diseños previos: estandarización de materiales constructivos, alimentación de biomasa de forma prolongada y control sobre el flujo de aire y gas de síntesis (ver Figura 1(a)), mediante la adaptación a pequeña escala de mecanismos utilizados a nivel de gasificación industrial, como alimentadores de biomasa y reguladores de flujo de agente gasificante y gas de síntesis. El dimensionamiento del reactor de gasificación se basa en la metodología expuesta por Panwar y Rathore [14]. En su mayoría, el diseño se compone por perfiles estructurales comerciales (ver Figura 1 (b)), para asegurar su repetitibilidad, de forma que en distintas zonas geográficas las personas puedan tener acceso a la estufa. La construcción ha sido realizada en el taller de la Unidad de Recursos Forestales del INII, Taller de Ingeniería Mecánica y Taller de Ingeniería de Biosistemas.



Fig. 1. Diseño de la estufa gasificada.

El proceso de gasificación será realizado con biomásas residuales agroforestales, específicamente madera de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). La misma será triturada (en forma de chips) y acondicionada, previo al proceso de gasificación, para favorecer tanto la reacción termoquímica como su manejo en el sistema de alimentación. La biomasa fue caracterizada químicamente y aún se requiere determinar su contenido de humedad, densidad aparente y poder calorífico. La

evaluación de la eficiencia térmica y emisiones en un ambiente controlado de laboratorio se realizará con mediante la “Prueba de Ebullición de Agua 4.2.3”, desarrollado por Clean Cooking Alliance. La prueba consiste en la cuantificación de la eficiencia de transferencia de calor del reactor a un recipiente con agua.

REFERENCIAS

- [1] R. Heltberg, «Factors determining household fuel choice in Guatemala», *Environ. Dev. Econ.*, vol. 10, n.o 3, pp. 337-361, 2005.
- [2] World Health Organization, «Household air pollution and health», Fact Sheets, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>. [Accedido: 17-oct-2019].
- [3] M. Sedighi y H. Salarian, «A comprehensive review of technical aspects of biomass cookstoves», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 70, n.o February 2015, pp. 656-665, 2017.
- [4] M. Njenga et al., «Gasifier as a cleaner cooking system in rural Kenya», *J. Clean. Prod.*, vol. 121, pp. 208-217, 2016.
- [5] J. Baumgartner, K. R. Smith, y A. Chockalingam, «Reducing CVD through improvements in household energy: Implications for policy-relevant research», *Glob. Heart*, vol. 7, n.o 3, pp. 243-247, 2012.
- [6] I. Ruiz-Mercado, O. Masera, H. Zamora, y K. R. Smith, «Adoption and sustained use of improved cookstoves», *Energy Policy*, vol. 39, n.o 12, pp. 7557-7566, 2011.
- [7] B. Westhoff y D. Germann, «Stove Trials and Tribulations», en *Stove images: A Documentation of Improved and Traditional Stoves in Africa, Asia and Latin America*, Frankfurt, 1995, pp. 22-23.
- [8] A. Jerneck y L. Solson, «Smoke: cooking, coughing and collective action i Keny», en *Ecology and Power: Struggles over Land and material Resources in the past*, A. Hornborg, B. Clark, y K. Hermele, Eds. Nueva York: Routledge, 2013, pp. 274-276.
- [9]. J. Ramakrishna, M. . Durgaprasad, y K. R. Smith, «Cooking in India : the Impact of», *Environ. Int.*, vol. 15, pp. 341-352, 1989.
- [10] M. Balat, M. Balat, E. Kirtay, y H. Balat, «Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 2: Gasification systems», *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, n.o 12, pp. 3158-3168, 2009.
- [11] S. Heidenreich, M. Müller, y P. U. Foscolo, *Advanced Biomass Gasification: New Concepts for Efficiency Increase and Product Flexibility*. 2016.
- [12] K. A. Motghare, A. P. Rathod, K. L. Wasewar, y N. K. Labhsetwar, «Comparative study of different waste biomass for energy application», *Waste Manag.*, vol. 47, pp. 40-45, 2016.
- [13] Manoj Kumar, Sachin Kumar, y S. K. Tyagi, «Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 265-285, 2013.
- [14] N. L. Panwar y N. S. Rathore, «Design and performance evaluation of a 5 kW producer gas stove», *Biomass and Bioenergy*, vol. 32, n.o 12, pp. 1349-1352, 2008.

Evaluación del uso de carbón activado producido a partir de rastrojo de piña en la remoción de azul de metileno

Evaluation of activated carbon produced from pineapple stubble for methylene blue removal

Diego Montenegro Quesada

Estudiante, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

e-mail: diego.montenegroquesada@ucr.ac.cr

Natalia Montero Rambla

Docente, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

e-mail: natalia.monterorambra@ucr.ac.cr

Rodolfo Antonio Hernández Chaverri

Unidad de Investigaciones Bioenergéticas y Ambientales,

Universidad Estatal a Distancia

e-mail: rohernandez@uned.ac.cr

Johanna Méndez Arias

Unidad de Recursos Forestales, Instituto de Investigaciones en Ingeniería,

Universidad de Costa Rica

e-mail: johanna.mendezarias@ucr.ac.cr

Palabras clave:

adsorción, azul de metileno, carbón activado, cloruro de zinc, rastrojo de piña.

I. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica se estima que hay sembradas aproximadamente 40 000 hectáreas de piña [1] en donde se producen aproximadamente (3.983 ± 1.192) millones de toneladas de rastrojo de piña al año en base húmeda a partir de la fórmula desarrollada por [2]. Esta gran cantidad de desecho de rastrojo de piña genera problemas debido a su disposición, entre estas problemáticas se encuentra la propagación de la mosca del establo (*Stomoxys Calcitrans*) [3], situación que se da cuando el rastrojo de piña se reintegra de manera directa (en verde) al suelo. Esta mosca se considera como un vector de enfermedades que puede afectar a personas y al ganado de fincas aledañas[2], [3]. Otro problema ocasionado por el rastrojo es el manejo que se le da en seco, en donde al rastrojo se le aplica el herbicida dimetil-4,4'-bipiridilo, conocido como Paraquat, que es un herbicida de toxicidad acumulativa que contamina en gran medida los suelos, afectando así su uso futuro y el medio ambiente [2]. Es por esta

razón que se deben de desarrollar formas de tratar el rastrojo de piña para brindar una solución a dichas problemáticas. La biorrefinería se presenta como una opción viable con la cual se puede desarrollar un producto de valor agregado, como por ejemplo el carbón activado a partir de desechos agrícolas.

II. METODOLOGÍA

Para la producción del carbón activado se mezcló el rastrojo de piña con disoluciones de 30% m/m de cloruro de zinc (Sigma-Aldrich, 98%) [4] y 30% v/v de ácido fosfórico (Quimar, 85%) [5]. Se mezcló el rastrojo con la disolución de activante en un beaker con razones de impregnación activante (mL):precursor(g) de 2:1 y 4:1, posteriormente se dejó la mezcla reposando por una noche. Luego se realiza un secado en el horno por 24 h a (103 ± 3) °C, la presencia o no de este secado previo a la carbonización se analizó como uno de los factores a estudiar. Luego se introduce la muestra de rastrojo impregnada en un crisol con tapa y se pone en la mufla (Thermolyne 1500) a 600 °C por 1 h y 30 min. Posteriormente, se deja enfriar el crisol en la mufla, para luego lavar el carbón activado con 900 mL aproximadamente de agua destilada. Por último, se seca el carbón activado por 1 h en la estufa a (103 ± 3) °C, se pesa y se guarda en recipientes de plástico. Para la adsorción de azul de metileno, se siguió la metodología de [6] donde las condiciones de adsorción fueron: concentración inicial de azul de metileno de 400 ppm, 50 mL de volumen de disolución y 0.5 g de carbón activado [6], y se utilizó 500 rpm como velocidad de agitación y 1 h como tiempo de adsorción para cada corrida por triplicado con cada tratamiento de carbón activado. Se determina la concentración de azul de metileno mediante espectrofotometría UV-Vis (Turner SP-870) a 660 nm (longitud de onda de máxima absorbancia para azul de metileno), realizando una curva de calibración con distintas disoluciones patrón de azul de metileno, mediante la cual se determina la concentración de azul de metileno después de la adsorción.

III. RESULTADOS

Tabla I. Resultados de rendimiento de producción y concentración final de metileno luego de la adsorción promedio y sus respectivas desviaciones estandar para los respectivos tratamientos.

Tratamiento	(A) Activante	(B) Razón activante (mL): precursor (g)	(C) Presencia secado previo a carbonización	Rendimiento de producción CA/(%)	Concentración final de AM luego de la adsorción/ (ppm)
1	ZnCl ₂	2 a 1	No	46.7 ± 9.1	0.444 ± 0.013
2	H ₃ PO ₄	2 a 1	No	70.3 ± 6.6	10.155 ± 0.116
3	ZnCl₂	4 a 1	No	55.3 ± 1.9	0.179 ± 0.064
4	H ₃ PO ₄	4 a 1	No	65.9 ± 3.5	1.366 ± 0.250
5	ZnCl ₂	2 a 1	Si	46.5 ± 1.1	0.173 ± 0.005
6	H ₃ PO ₄	2 a 1	Si	70.7 ± 15.3	10.162 ± 0.149
7	ZnCl ₂	4 a 1	Si	52.5 ± 4.9	0.200 ± 0.061
8	H ₃ PO ₄	4 a 1	Si	61.0 ± 1.8	1.338 ± 0.080

CA: carbón activado, AM: azul de metileno.

Utilizando el programa RStudio para realizar el análisis estadístico del diseño factorial 23, se determina que para la adsorción de azul de metileno los efectos significativos corresponden a el agente activante, la razón activante (mL):precursor (g) y la interacción entre ambos efectos con un 95% de confianza. Se han realizado investigaciones similares previamente en donde se realiza una etapa de secado previa a la carbonización (a 100 °C por hasta 24 h) que se utiliza para eliminar el agua presente y también para facilitar el hinchamiento de los canales internos de la biomasa para promover la degradación de la matriz lignocelulósica [6]–[8]. En el presente trabajo se demostró que dicho paso de secado luego de la impregnación con el activante y previo a la carbonización no tiene un efecto significativo en la adsorción de azul de metileno, lo cual es un aspecto importante considerar, ya que esto significa un ahorro de energía y de tiempo durante su producción.

Tabla II. Resultados obtenidos de la caracterización del área superficial BET y características del poro de los carbones activados.

Muestra	Área superficial BET/(m ² /g)	Volumen total de poros/(cm ³ /g)	Diámetro promedio de los poros/(nm)	Observación
Carbón Activado producido con H ₃ PO ₄ (tratamiento 4)	228.3	0.46	8	Posee estructuras de poros desordenadas
Carbón activado producido con ZnCl ₂ (tratamiento 3)	685.6	0.53	3.1	Posee estructuras de micro y mesoporos

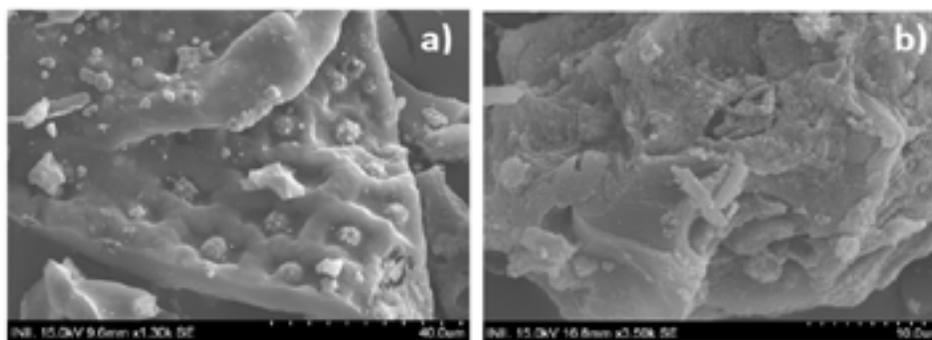


Fig 1. SEM de los carbones activados: a) tratamiento 3 (ZnCl₂, 4:1), b) tratamiento 4 (H₃PO₄, 4:1).

CONCLUSIONES

- Es posible producir carbón activado a partir de residuos del rastrojo de piña mediante activación química con rendimientos promedio entre 46.5 % y 70.7 %, sin necesidad de utilizar una atmósfera inerte de nitrógeno.
- La mejor remoción de azul de metileno se obtiene con el carbón activado producido utilizando ZnCl₂ como activante y una razón de impregnación activante(mL): precursor(g) de 4:1. No se observa un efecto significativo en la aplicación de secado previo a la carbonización

en la remoción de azul de metileno del carbón activado por lo que se propone trabajar sin presencia de secado, con el fin de disminuir los costos de producción asociados al consumo de energía que implica realizar un secado previo de 24 h.

- El cloruro de zinc es más efectivo en el desarrollo de carbones activados microporosos con mayor área superficial BET y mayor volumen total de poro, mientras que el ácido fosfórico es más efectivo en el desarrollo de mesoporos, lo cual lo hace tener un mayor diámetro promedio de los poros.

REFERENCIAS

- [1] CANAPEP, “Estadísticas, Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña,” 2020. <https://canapep.com/estadisticas/>.
- [2] R. A. Hernández-Chaverri and L. A. Prado-Barragán, “Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica,” *UNED Res. J.*, vol. 10, no. 2005, pp. 455–468, 2018.
- [3] J. A. Solórzano *et al.*, “Biology and trapping of Stable Flies (Diptera: Muscidae) developing in pineapple residues (*Ananas comosus*) in Costa Rica,” *J. Insect Sci.*, vol. 15, no. 1, 2015, doi: 10.1093/jisesa/iev127.
- [4] Sigma-Aldrich, “Zinc chloride.” <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigald/208086?lang=en®ion=CR> (accessed Nov. 04, 2020).
- [5] Laboratorios Quimar, “Laboratorios Quimar S.A.” <http://www.labquimar.com/> (accessed Nov. 04, 2020).
- [6] M. N. Mahamad, M. A. A. Zaini, and Z. A. Zakaria, “Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal,” *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 102, pp. 274–280, 2015, doi: 10.1016/j.ibiod.2015.03.009.
- [7] M. Benadjemia, L. Millière, L. Reinert, N. Benderdouche, and L. Duclaux, “Preparation, characterization and Methylene Blue adsorption of phosphoric acid activated carbons from globe artichoke leaves,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 6, pp. 1203–1212, 2011, doi: 10.1016/j.fuproc.2011.01.014.
- [8] H. Marsh and F. Rodríguez-Reinoso, “Activation Processes (Chemical),” *Act. Carbon*, no. i, pp. 322–365, 2006, doi: 10.1016/b978-008044463-5/50020-0.

Licuefacción hidrotérmica del rastrojo de piña para la obtención de biocrudo

Hydrothermal liquefaction of pineapple stubble to obtain biocrude

Raúl Ulate Sancho

*Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica
e-mails: ulateraul@hotmail.com*

Natalia Montero Rambla,

Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

Natalia Hernández Montero

Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

Esteban Durán Herrera

*Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica
esteban.duranherrera@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

BIOCRUDO, biomasa, biocombustibles líquidos, licuefacción hidrotérmica, rastrojo de piña.

I. INTRODUCCIÓN

La licuefacción hidrotérmica (LHT) de biomasa es un proceso termoquímico para la transformación de biomasa a combustibles. Se diferencia de otros procesos termoquímicos porque típicamente emplea temperaturas bajas (<350 °C) y presiones moderadas (<150 bar), puede dar tratamiento a biomasa húmedas y se puede obtener un combustible en estado líquido que es adaptable a tecnologías de transporte usadas en la actualidad. En el presente, la LHT se encuentra en un estado de desarrollo intermedio, entre el laboratorio y la escala industrial; es por esto que el estudio del uso potencial de diferentes biomasa, así como del efecto de las variables en el rendimiento del proceso se vuelven importantes para asegurar la obtención de productos de calidad en unidades de gran escala [1].

En Costa Rica, la piña se ha convertido en el principal producto agrícola de exportación del país; sin embargo, este cultivo deja una gran cantidad de rastrojo de desecho, alrededor de 250 TM por hectárea cultivada. Esta gran disponibilidad de rastrojo, aunado a los problemas ambientales que se han generado por el manejo inadecuado de estos desechos [2], hacen del rastrojo de piña una excelente opción como materia prima para la LHT en el país.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de reacción de la LHT del rastrojo de piña sobre el rendimiento en la obtención de biocrudo, así como la caracterización de la materia prima y del biocrudo obtenido.

II. METODOLOGÍA

Se utilizó un diseño estadístico 22 central compuesto con un bloque para estudiar las variables temperatura y tiempo de reacción, centrados en 300 °C y 1.5 h, con el bloque referido a los ciclos de extracción sólido-líquido (1 ó 2). La reacción fue realizada en el reactor Parr 4560 de 300 ml y la recuperación del biocrudo se dió con una extracción con diclorometano de los sólidos resultantes del tratamiento hidrotérmico, separado posteriormente en un rotavapor.

La materia prima fue caracterizada para obtener los porcentajes de azúcares estructurales, ceniza y humedad. El biocrudo fue caracterizado por medio de calorimetría, cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) y análisis termogravimétrico y térmico diferencial (TGA/DSC).

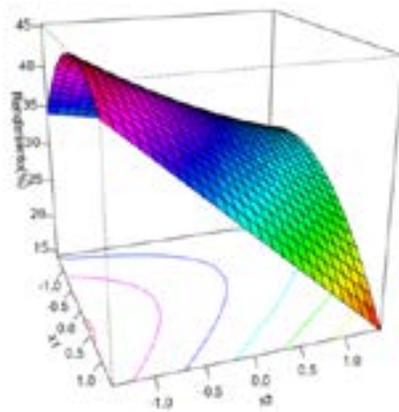


Figura 1. Modelo obtenido para el rendimiento en función de la temperatura (x1) y el tiempo (x2), R2 de 0.836.

Resultados experimentales y análisis

Se obtuvieron rendimientos entre el 19-43% para la recuperación del biocrudo, las mejores condiciones de reacción experimentadas fueron a 325 °C, 1 h y 300 °C, 0.793 h con un rendimiento del 43.4%. En la tabla I se muestran los rendimientos para biocrudos recuperados de esta y otras biomásas lignocelulósicas, en ese aspecto, el buen rendimiento de esta materia prima la posiciona como una potencial fuente energética a través de LHT.

A partir de los datos de rendimiento se generó un modelo cuadrático presentado en la figura 1, en este se encuentra una superficie de silla de montar, sin un punto óptimo, pero el modelo describe las tendencias hacia donde se obtienen mejores rendimientos. Se detectó de

que el tiempo de residencia es inversamente proporcional al rendimiento del biocrudo, teniendo mejores rendimientos a menores tiempos. La temperatura tiene umbral de mejor rendimiento a una temperatura dada y luego comienza a descender. Este umbral, sin embargo, no se da de la misma manera para todo el ámbito de tiempo y sigue cierto patrón lógico donde a mayor tiempo de residencia el umbral de rendimiento se da a una menor temperatura, a menores tiempos de residencia se da a temperaturas más altas.

Tabla 1. Rendimiento de biocrudo recuperado de la LHT de otras biomásas lignocelulósicas.

Materia prima	Rendimiento / (%m/m)	Materia prima	Rendimiento / (%m/m)
Rastrojo de piña (este estudio)	43.4	Rama de Distylium	46.34
Racimo de palma vacía	37.39	Rama de Viburnum	42.24
Fibra de mesocarpio de palma	34.32	Corteza de pino	36
Cáscara de almendra de palma	38.53	Corteza de abeto blanco	58
Rama de pino	41.82		

El biocrudo fue caracterizado mediante GC/MS, donde se pudo observar la presencia de compuestos alifáticos, alcoholes (mayoritariamente fenoles), naftol, ácidos grasos, una chalcona, una flavona, un ftalato, cetonas, clorambucilo, una coenzima; familias de moléculas y moléculas que previamente habían sido reportadas para la LHT. Mediante TGA/DSC se determinó que el biocrudo reduce el 81% de su masa a 800 °C por lo que se puede concluir que el resto de su masa corresponde a moléculas de alto peso molecular y cenizas; a partir de este análisis se desarrollan también posibles patrones de descomposición para el biocrudo de acuerdo a las moléculas presentes. Finalmente, se determinó un calor de combustión de (35.922±0.724) MJ/kg para el biocrudo y de (27.567±0.388) MJ/kg para el hydrochar (fase sólida resultante del tratamiento), ambos valores señalan estar en un ámbito de alto contenido energético en relación a los previamente reportados para otras materias primas (ver Tabla II).

Tabla II. Calor de combustión para el biocrudo de varias materias primas sometidas a LHT.

Autor	Materia prima	HHV (MJ/kg)
Este estudio	Rastrojo de piña	35.9±0.7
Haarlemmer et al.[4]	Madera de haya	27.0-30.1
Younas et al.[5]	Paja de arroz	27.6-31.6
Li et al. [6]	Lodos de aguas residuales	36.45
Alhassan et al.[7]	<i>Jatropha curcas</i> sin aceite	21.15-24.30

CONCLUSIONES

La LHT de rastrojo de piña tuvo un rendimiento del 43.4 %m/m en un ámbito de (264.8-335.4) °C y (0.793-2.207) h. El biocrudo obtenido presentó un poder calorífico de (35.922±0.724) MJ/kg se y se detectaron moléculas de compuestos alifáticos, alcoholes, cetonas, ácidos grasos, naftol

y otras. Con estos resultados, la posibilidad de producir biocrudo, y con ello biocombustibles líquidos a partir de rastrojo de piña, es muy prometedora.

REFERENCIAS

- [1] A. R. K. Gollakota, N. Kishore, y S. Gu, “A review on hydrothermal liquefaction of biomass”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, núm. April 2017, pp. 1378–1392, 2018.
- [2] M. E. Molina y M. Cordoba, “DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA CELULASA , CELOBIASA Y DE NaOH EN LA HIDRÓLISIS”, *Ing. Rev. Universiad Costa Rica*, vol. 24, núm. 2, pp. 35–51, 2014.
- [3] L. Cao *et al.*, “Hydrothermal liquefaction of agricultural and forestry wastes: state-of-the-art review and future prospects”, *Bioresour. Technol.*, vol. 245, núm. June, pp. 1184–1193, 2017.
- [4] G. Haarlemmer, C. Guizani, S. Anouti, M. Déniel, A. Roubaud, y S. Valin, “Analysis and comparison of bio-oils obtained by hydrothermal liquefaction and fast pyrolysis of beech wood”, *Fuel*, vol. 174, pp. 180–188, 2016.
- [5] R. Younas, S. Hao, L. Zhang, y S. Zhang, “Hydrothermal liquefaction of rice straw with NiO nano-catalyst for bio-oil production”, *Renew. Energy*, vol. 113, pp. 532–545, 2017.
- [6] R. Li, Z. Ma, T. Yang, B. Li, L. Wei, y Y. Sun, “Sub–supercritical liquefaction of municipal wet sewage sludge to produce bio-oil: Effect of different organic–water mixed solvents”, *J. Supercrit. Fluids*, vol. 138, núm. December 2017, pp. 115–123, 2018.
- [7] Y. Alhassan, N. Kumar, y I. M. Bugaje, “Hydrothermal liquefaction of de-oiled *Jatropha curcas* cake using Deep Eutectic Solvents (DESs) as catalysts and co-solvents”, *Bioresour. Technol.*, vol. 199, pp. 375–381, 2016.

Soporte catalítico estructurado impreso en 3D para la degradación de contaminantes emergentes mediante el proceso de Fenton

3D printed catalytic support for the degradation of emergin pollutants via Fenton porcess

Gabriela Vindas Azofeifa
Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica
e-mails: maria.vindasazofeifa@ucr.ac.cr

Esteban Durán Herrera
Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica
e-mails: esteban.duranherrera@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Contaminantes emergentes, proceso Fenton, inmovilización, celda de Kelvin, catalizador estructurado 3D.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso Fenton homogéneo es una tecnología que se ha aplicado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas que contienen contaminantes orgánicos emergentes no biodegradables (por ejemplo, pesticidas, hormonas, antibióticos, colorantes). Sin embargo, debido a los inconvenientes que presenta el proceso Fenton homogéneo convencional (por ejemplo, generación de lodos, pH ácido de operación), se ha hecho un esfuerzo en el desarrollo de sistemas Fenton heterogéneos. Desafortunadamente, la mayoría de los trabajos reportados en la literatura se han centrado en el desarrollo de los catalizadores [1] y no en el desarrollo de las configuraciones de los reactores en las que dichos catalizadores heterogéneos se pueden utilizar en sistemas continuos.

En esta investigación se exploro el uso de la manufactura aditiva para la fabricación de un catalizador Fenton estructurado, compuesto por una estructura de policarbonato impresa en 3D recubierta con un catalizador de diatomita modificado con hierro [2]. Este catalizador estructurado se puede utilizar en reactores continuos de lecho fijo, presentando muchas propiedades operativas ventajosas (por ejemplo, baja caída de presión, transferencia de masa mejorada, difusión, estabilidad y rigidez), además de una fabricación fácil, rápida y de bajo costo.

II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Empleando el software de dibujo AutoCAD y partiendo de una celda de kelvin, se diseñó una geometría de espuma en policarbonato (Figura 1 A), esta se obtuvo mediante la impresora 3D

(Ultimaker 2 Extended+) a 110 °C y 0.2 mm de resolución. La activación de la base polimérica se realizó mediante un anclaje químico entre el policarbonato y el catalizador previamente sintetizado a partir de hierro soportado en diatomita[2]. El anclaje se logró a través del método de inmovilización por inmersión durante 40 minutos, empleando un baño ultrasónico como herramienta para estabilizar la dispersión (Figura 1 B), posteriormente se realizó un curado de 1 hora a 95°C y finalmente se repitió el procedimiento 4 veces en total para incrementar el tamaño de la película obteniendo la pieza final expuesta en la Figura 1 C. La suspensión empleada contuvo: 2.5% v/v de Bis[3-(trimetoxil) propil]amina (Bis-TPA) como ligante, 100 mL de etanol y 1.5g de catalizador.

Se eligió la cafeína como contaminante modelo y se analizó su degradación empleando los siguientes parámetros de reacción: $[H_2O_2]=50$, $pH=3$, $T=23^\circ C$ y concentración inicial de cafeína 15 mg/L. La detección se realizó a 274 nm en un espectrofotómetro con muestras tomadas cada 5 minutos. Adicionalmente, se analizó la película en el SEM (Figura 1 D) y finalmente se analizó la lixiviación de la estructura mediante una detección de hierro por colorimetría mediante el colorímetro H1721.

III. RESULTADOS

El diseño de la estructura propuesta presentó una porosidad de 0.77 valor que permitió relacionar oficialmente la geometría con la clasificación de espuma [3]; además, la metodología propuesta para la inmovilización expuso una película firme en la que el ligante (Bis-TPA) mantuvo ancladas las diatomeas que contenían el hierro como se observa en la Fig. 1, esto a su vez coincide con el bajo valor lixiviación de 0.09 mg/L.

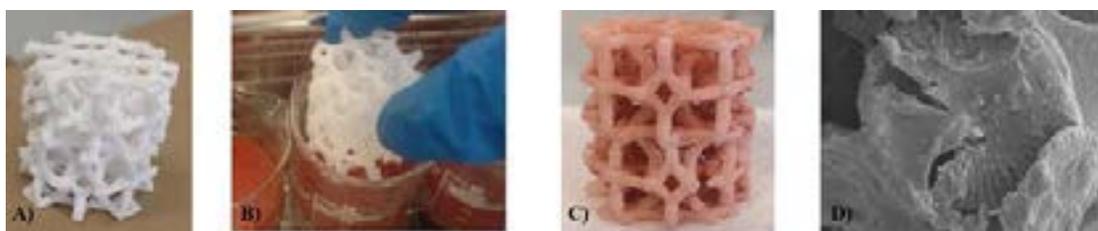


Fig. 1. A) Estructura de policarbonato; B) Inmovilización por inmersión; C) Estructura inmovilizada con 4 capas; D) Micrografía tomada mediante SEM de la película.

La reacción de Fenton se caracteriza por una elevada tasa de degradación inicial seguida por una estabilización en la misma, comportamiento consistente con la Figura 2. En cuanto al valor máximo de degradación obtenido fue de 31%, la reducción en el porcentaje de degradación esperado se pudo ver afectado por un efecto de encapsulamiento parcial, en donde el ligante no permitió que la totalidad de los sitios activos estuviera en contacto con el contaminante.

Las estructuras diseñadas se sometieron a 5 ciclos consecutivos de la reacción de Fenton a diferentes flujos como se observa en la Fig. 2, este proceso expuso que la turbulencia beneficia el

proceso de degradación, resultado que encaja con los objetivos inicialmente propuestos relacionados con beneficiar los distintos fenómenos asociados a la transferencia de masa en una reacción química [4].

Adicionalmente, se evaluó la capacidad de degradación de estructuras regeneradas, las cuales al concluir los 5 ciclos se volvieron a inmovilizar. La Fig. 3 expone que la diferencia entre la comparación de estructuras no es estadísticamente significativa por lo que es seguro reutilizar estas estructuras.

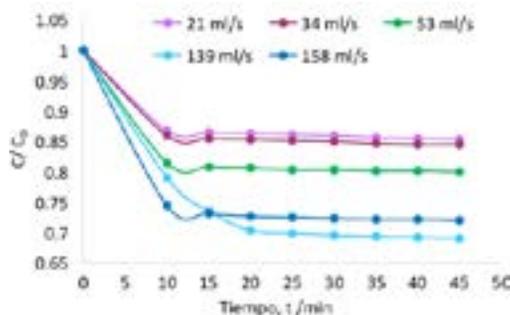


Fig. 2. Degradación de cafeína a diferentes flujos.

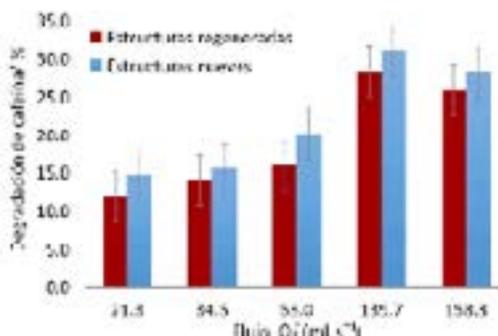


Fig. 3. Comparación de rendimiento entre estructuras nuevas y regeneradas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que el diseño propuesto posee grandes virtudes en términos de transferencia de masa y un gran potencial como soporte catalítico para ser empleado en tratamiento de aguas residuales con contaminantes emergentes, así mismo se recomienda inmovilizar una mayor cantidad de catalizador e imprimir la estructura en materiales compuestos.

REFERENCIAS

- [1] P. V. Nidheesh, "Heterogeneous Fenton catalysts for the abatement of organic pollutants from aqueous solution: a review," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 51, pp. 40552–40577, (2015)
- [2] Adriana Araya Díaz and Esteban Duran, *Proc. IOA & IUVA World Congress* (2013).

- [3] J. T. Richardson, Y. Peng, and D. Remue, “Properties of ceramic foam catalyst supports: pressure drop,” *Appl. Catal. Gen.*, vol. 204, no. 1, pp. 19–32, (2000).
- [4] F. Lucci, A. Della Torre, G. Montenegro, R. Kaufmann, and P. Dimopoulos Eggenschwiler, “Comparison of geometrical, momentum and mass transfer characteristics of real foams to Kelvin cell lattices for catalyst applications,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 108, pp. 341–350, (2017).

Fe de erratas

En el documento resumen de la ponencia: Soporte catalítico estructurado impreso en 3D para la degradación de contaminantes emergentes mediante el proceso de Fenton, página 110, se corrige un error de edición de la Fig. 1. A) Estructura de policarbonato; B) Inmovilización por inmersión; C) Estructura inmovilizada con 4 capas; D) Micrografía tomada mediante SEM de la película.

Control vectorial de un generador lineal para la conversión de energía undimotriz utilizando convertidores fuente de corriente

Vector Control of a Linear Generator for Wave-Energy Generation by Using a Current Source Converter

Elena Villalobos

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica
e-mail: elena.villalobos@ucr.ac.cr*

Mauricio Céspedes

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica
e-mail: mauricio.cespedestenario@ucr.ac.cr*

Mauricio Espinoza B.

*Profesor, Escuela de Ingeniería Eléctrica
e-mail: mauricio.espinoza_bola@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Convertidor electrónico, generador lineal, energía undimotriz, control vectorial.

I. RESUMEN

En este artículo se presenta y discute el control vectorial aplicado a la conversión de energía undimotriz. Específicamente, se propone y valida mediante simulación un sistema de control para evitar oscilaciones de corriente indeseadas por el uso de un filtro pasivo en las terminales del generador.

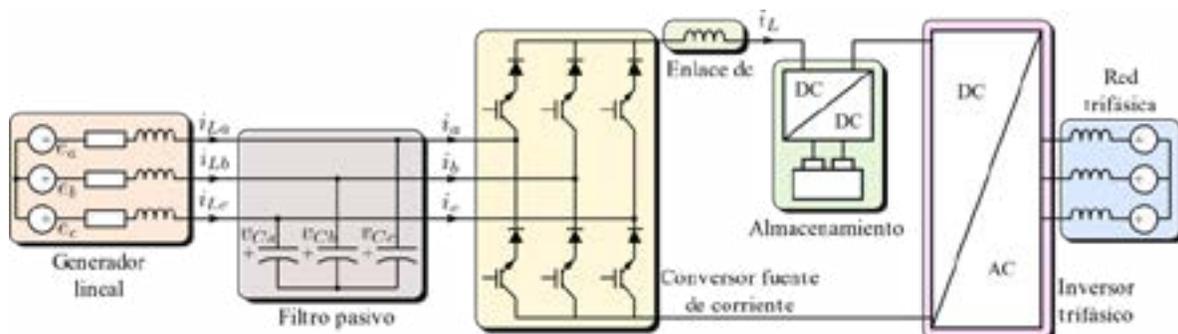


Fig. 1. Sistema de conversión de energía undimotriz analizado.

II. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables toman más relevancia cada día, puesto que tienen emisiones de dióxido de carbono relativamente bajas. Dentro de las energías limpias, existe una que aún se encuentra en desarrollo y que posee un futuro prometedor: la energía undimotriz. Esta energía se extrae del movimiento de las olas oceánicas, y presenta notables ventajas: como el hecho de que la intensidad de la energía es mucho mayor que en el caso de energía eólica o solar. Además, es posible generar energía el 90% del tiempo; a diferencia de cuando se trata de energía eólica o solar, donde se consigue sacar provecho de hasta un 30% del tiempo [1]. La figura 1 muestra un sistema de conversión de energía undimotriz. El sistema está compuesto por un generador lineal, un filtro pasivo, el convertidor electrónico, un inductor que funciona como enlace de dc, un sistema de almacenamiento y un convertidor para conectar el sistema a la red. No obstante, por ser una tecnología emergente, estos sistemas han carecido de un control formal del lado del generador, provocando oscilaciones en sus corrientes y por tanto en su torque, produciendo oscilaciones mecánicas indeseables [2]. En este artículo, se propone un sistema de control que considera todas las dinámicas necesarias para evitar los problemas anteriormente mencionados.

III. MODELADO PROPUESTO

A partir de la aplicación de la ley de tensiones y corrientes de Kirchhoff en el circuito de la figura 1, específicamente al conjunto convertidor de corriente, generador y filtro, es posible determinar que:

$$C \frac{dv_{Cabc}}{dt} = i_{Labc} - i_{abc} \quad (1)$$

$$L \frac{di_{Labc}}{dt} = e_{abc} - Ri_{Labc} - v_{Cabc} \quad (2)$$

donde $i_{Labc} = [i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc}]^T$, $v_{Cabc} = [v_{Ca}, v_{Cb}, v_{Cc}]^T$, etc. y se ha supuesto que las capacitancias, resistencias e inductancias en cada fase son iguales. Al cambiar el marco de referencia del sistema definido en (1) y (2) de coordenadas abc a dq, se obtiene que:

$$C \frac{dv_{Cdq}}{dt} = i_{Ldq} - jC\omega_e v_{Cdq} - i_{dq} \quad (3)$$

$$L \frac{di_{Ldq}}{dt} = -Ri_{Ldq} - jL\omega_e i_{Ldq} - v_{Cdq} + e_{dq} \quad (4)$$

siendo (3) y (4) el modelo dinámico de los estados del sistema (v_{Cdq} y i_{Ldq}) en función de sus entradas (e_{dq} y i_{dq}). A partir de estas dos ecuaciones vectoriales es posible proponer un sistema de control donde, ambas, la corriente y tensión terminal del generador estén bien reguladas y controladas.

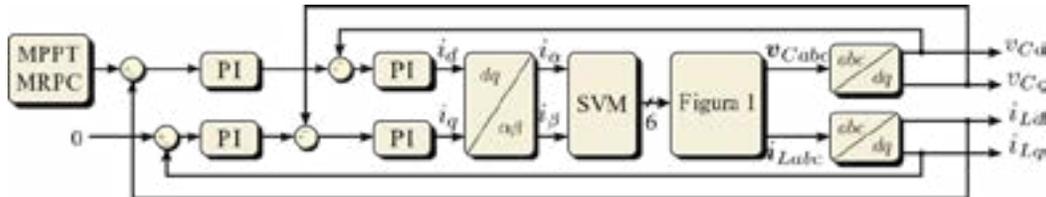


Fig. 2. Sistema de control propuesto.

IV. SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO

En la figura 2 se muestra el sistema de control propuesto. La tensión del generador, v_{Cabc} , y sus corrientes, i_{Labc} , son transformadas del marco de referencia abc al marco dq. La tensión del generador es controlada por dos PI que manipulan la corriente dq en el convertor. Por otro lado, el valor deseado de las tensiones del generador es impuesto por dos controladores PI que regulan las corrientes del generador de acuerdo con el algoritmo de rastreo del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés) y el controlador de potencia mecánica reactiva (RMPC, por sus siglas en inglés) (ver [2]). El valor de la corriente de eje q del generador se regula a 0A por ser de imanes permanentes.

V. SIMULACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados de simulación que validan la efectividad del sistema de control propuesto se muestran en la figura 3. Se consideró el sistema utilizado en [3]. A la izquierda se muestran los resultados de un periodo completo de movimiento de la boya, donde la operación se mantuvo durante todo el periodo, logrando una corriente pico de 10A y una tensión pico de casi 200V. A la derecha de la figura se observa el cruce por 0A de las corrientes, zona en la que se presenta la máxima oscilación indeseable (resonancia) cuando no existe un control adecuado. En este caso dichas oscilaciones no están presentes, pues la tensión del convertor oscila en su lugar para mantener la corriente con el comportamiento deseado, demostrando la efectividad del sistema de control propuesto.

CONCLUSIÓN

Se ha demostrado que es posible no solo obtener un modelo dinámico de las variables de interés de un sistema de conversión de energía undimotriz, sino que además se puede plantear un sistema de control suficientemente robusto para operar el sistema en condiciones normales, y que además evite las oscilaciones de corriente/torque en la condición más demandante (cruce por cero).

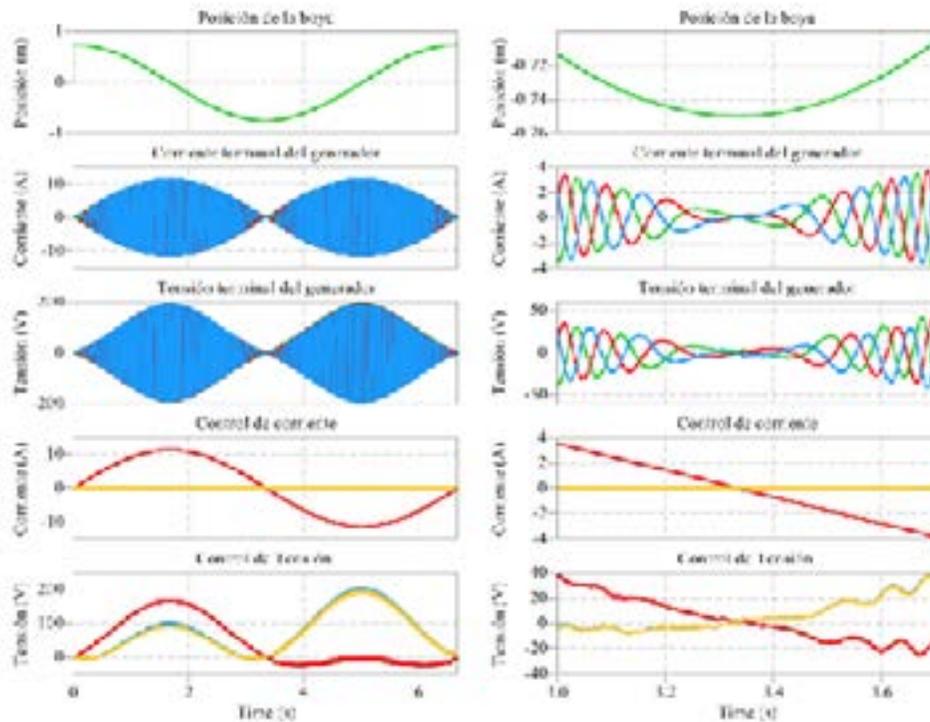


Figura 3: Resultados de simulación. Izquierda: periodo de una ola. Derecha: cruce por 0 de corrientes. De arriba a abajo: 1) Posición de la boya, 2) Corriente trifásica del generador, 3) Tensión del generador, 4) Control de corriente del generador; valor deseado i_d (verde), valor medido i_d (rojo), valor deseado i_q (azul), valor medido i_q (amarillo), 5) Control de tensión del generador; valor deseado i_d (verde), valor medido i_q (rojo), valor deseado i_d (azul), valor medido i_q (amarillo).

REFERENCIAS

- [1] Nguyen, C. Wang, Z. Tay, and V. Luong, "Wave Energy Converter and Large Floating Platform Integration: A Review," *Ocean Engineering*, vol. 213, 2020.
- [2] P. McDonald, N. J. Baker, and V. Pickert, "High-frequency current source converter for a direct drive powertrain in a wave energy converter," *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 17, pp. 3629–3633, 2019.
- [3] S. P. McDonald, N. J. Baker, M. Espinoza and V. Pickert, "Power-take-off topology comparison for a wave energy converter," in *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 18, pp. 5012-5017,

Tema VI

**Modelado y prototipado:
software, sistemas, herramientas,
aplicaciones**

Optimización de cruces ferroviarios en redes de vía simple mediante algoritmos voraces y genéticos

Train passings optimization in the single track networks using greedy and genetic algorithms

Arturo Ramírez Masis

Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

e-mail: jose.ramirezmasis@gmail.com

Palabras clave:

Algoritmo voraz cruce, modelación ferroviaria, optimización genética, programación ferroviaria.

I. INTRODUCCIÓN

Las redes ferroviarias de vía simple como la de la Gran Área Metropolitana (GAM) requieren planificar en cuál apartadero y con qué maniobras se cruzarán los trenes involucrados en cada conflicto que ocurra durante la operación diaria, ya sean encuentros frontales o unidireccionales, entre dos o más trenes. Es complejo modelar manualmente las decisiones de cruces y sus repercusiones sobre conflictos posteriores, y al Instituto Costarricense de Ferrocarriles (Incofer) actualmente le toma mucho tiempo cada vez que debe realizarlo así. Al disponer de un sistema de apoyo que automatice y optimice ciertas decisiones, los planificadores ferroviarios podrían esbozar y predecir muy rápidamente distintos horarios, y así explorar nuevos escenarios de operación, infraestructura, material rodante o personal que amplíen el nivel de servicio brindado. Dicha necesidad de apoyo computarizado generó la pregunta de investigación: “¿Es posible diseñar una herramienta informática con algoritmos voraces y genéticos que modele realísticamente la operación ferroviaria de la GAM y optimice los cruces entre trenes?”

II. METODOLOGÍA

Se creó en Java un programa de 4500 líneas de código llamado SOPDREMAV, que recibe como insumos la infraestructura de una red multirramal y las carreras que deben correr en ella durante una cierta jornada. Los resultados que devuelve son 1) la lista de cruces entre trenes que deben realizarse para obtener un horario óptimo, 2) la predicción de horas de paso de cada carrera por cada nodo de la red si se realizan los cruces de esa forma, y 3) el valor de aptitud global asociado a esas escogencias de cruces. El nombre del *software* es un acrónimo de sus 9 módulos principales, clasificables en tres fases:

1. Fase 1: módulos Predictor, Detector, Resolutor, Establecedor y Modificador. Modelan realísticamente las horas de llegada y salida de cada tren por cada nodo físico, resolviendo cronológicamente los conflictos entre trenes en apego a las maniobras de cruces y operación que emplea Incofer, y considerando que se siga un determinado conjunto de decisiones de prioridad entre trenes.
2. Fase 2: Simulador, Optimizador y Analizador. Se emplea un algoritmo voraz y uno genético para optimizar esas prioridades entre trenes, con el objetivo de maximizar una función de aptitud basada en la *demora relativa magnificada* de los pasajeros.
3. Fase 3: Visualizador. Consiste en una aplicación graficadora que despliega gráficos posición-tiempo que muestran el movimiento de todos los trenes en los ramales de la red, tanto para cada una de las resoluciones sucesivas de conflictos como para el patrón óptimo de cruces.

Dado un conjunto de decisiones de prioridades, el cual se traduce en un cierto patrón de cruces, el módulo Analizador puntúa el horario asociado a ese patrón. Para obtener este Valor de Aptitud (VA), se promedian ponderadamente las satisfacciones, de 0 a 100, de todos los “paquetes de pasajeros”, definiendo paquete como el conjunto de pasajeros que viajan desde un origen específico hacia un destino específico, en un tren específico. Para calcular este Índice de Satisfacción (IS) de cada paquete se emplea el criterio de demora relativa magnificada, de elaboración original, cuya ecuación es:

$$IS = 100 \left(\frac{d_r}{d_p} \right)^{m_a m_r} \quad (1)$$

d_r = duración de viaje reglamentaria, la que espera el pasajero según el horario publicado

d_p = duración de viaje prevista si se obedecen las prioridades del escenario analizado, medida desde el instante reglamentario de partida del origen hasta el instante previsto de arribo al destino

m_a = magnificador demora absoluta: parámetro, mayor a 1 penaliza aún más los retrasos absolutos grandes y menos a los pequeños pues podrían ser recuperables a pie. Se usó un valor de 1.

m_r = magnificador demora relativa: parámetro, mayor a 1 penaliza aún más los retrasos grandes relativos a la duración esperada, pues podrían tener un efecto psicológico mayor. Se usó un valor de 1.

El módulo Optimizador emplea dos algoritmos originales de optimización para hallar el conjunto de decisiones de prioridad (representado por una Matriz de Prioridades (MP) entre trenes) que genere el mayor VA posible. El algoritmo voraz simplemente resuelve de manera cronológica cada conflicto tomando la decisión de prioridad que sea localmente más prometedora, es decir, aquella que genere menos retrasos adicionales a los trenes involucrados de manera directa o indirecta por la resolución.

Por otra parte, el algoritmo genético está inspirado en el de Dündar y Sahin [1] y los postulados de la evolución de las especies: deriva genética y supervivencia del más apto. Primero se crea una

generación inicial con individuos aleatorios o predefinidos. Cada individuo es un escenario: una MP para la cual se predice el horario asociado (Matriz de Horas de Paso y Lista de Cruces) y se le calcula su respectivo VA. Luego los individuos se aparean aleatoriamente, dando más probabilidad de conseguirlo a los individuos con mayor VA. Cada apareamiento produce un individuo “hijo” a partir de la combinación de las MP de sus progenitores, y todos los hijos constituyen una nueva generación que se procesa y reproduce a su vez. La evolución se detiene al alcanzar un umbral de tiempo o generaciones.

III. RESULTADOS

SOPDREMAV logró predecir un horario bastante fiel a los movimientos que ocurrieron en un día típico (3-mar-2020) al emplearse las prioridades que Incofer usó realmente. La diferencia promedio entre el inicio de los cruces modelados y el de sus equivalentes a como realmente ocurrieron, fue de 2 min. La diferencia promedio de duración entre los cruces modelados y los reales fue de 2,5 min. También se demostró la capacidad del *software* para optimizar el patrón de cruces, pues las decisiones que tomó para el 25-jun-2020 fueron mejores que las que tomó el despachador humano: VA de 99,85 vs. 98,67. Finalmente se empleó SOPDREMAV como apoyo para diseñar un nuevo horario para la red (Fig. 1), considerando la adición de 8 nuevos trenes que adquirió Incofer y la habilitación de infraestructura actualmente en construcción: estaciones y extensión de línea a Paraíso y a Ojo de Agua.

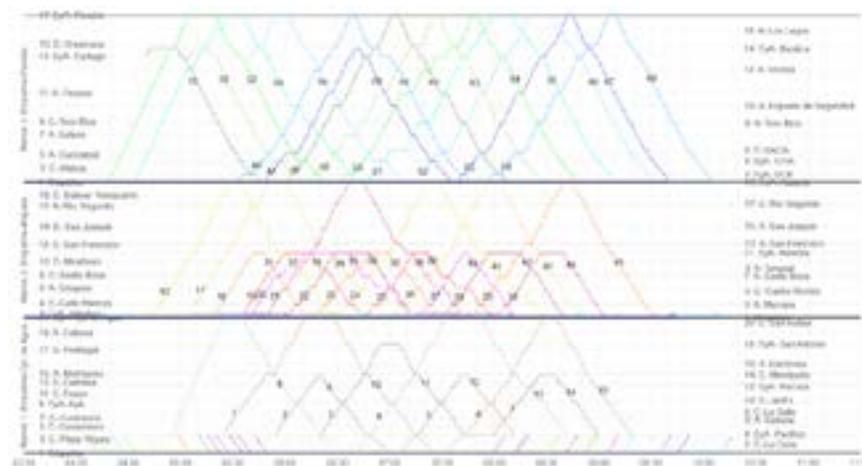


Fig. 1. Gráfico posición-tiempo de las carreras del horario matutino propuesto para la GAM, diseñado con SOPDREMAV.

CONCLUSIONES

SOPDREMAV es una herramienta potente y veloz que puede ayudar a Incofer en la evaluación de decisiones de construcción de apartaderos o prioridades de mantenimiento de vías, y en el diseño de planes de contingencia, horarios especiales o nuevos esquemas de operación permanentes. El

software es modular, paramétrico y versátil para reproducir distintas maniobras ferroviarias, y puede mejorarse incluyendo mutaciones genéticas y más variables como velocidades y cancelación de carreras, o variando los parámetros evolutivos. También debe depurarse la función de aptitud, estudiando la percepción de los pasajeros reales ante demoras absolutas y relativas de diferente magnitud.

REFERENCIAS

- [1] S. Dündar e I. Sahin, “Train re-scheduling with genetic algorithms and artificial neural networks for single-track railways”, *Transportation Research Part C*, vol. 27, pp. 1–15, Feb. 2013.

Diseño de un Sistema de Ruedas de Reacción para un CubeSat de Tres Unidades

Design of a Reaction Wheel System for a Three Unit CubeSat

Adrián López Vásquez

*Estudiante, Licenciatura de Ingeniería Mecánica,
Universidad de Costa Rica.
e-mail: adrilova03@gmail.com*

Daniel Valverde Bustamante

*Estudiante, Licenciatura de Ingeniería Mecánica,
Universidad de Costa Rica.
e-mail: dval97@hotmail.com*

Luis Miguel Chavarría Segura

*Estudiante, Licenciatura de Ingeniería Mecánica,
Universidad de Costa Rica.
e-mail: luismiguelchs@hotmail.com*

Palabras clave:

Control de actitud, cubesat, ruedas de reacción, satélite, sistemas espaciales.

I. INTRODUCCIÓN

Esta ponencia es parte de un Trabajo Final de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, que se realiza en conjunto con el Laboratorio de Sistemas Espaciales (SETEC Lab) del Tecnológico de Costa Rica, este laboratorio busca realizar el primer sistema de control de actitud para utilizarlo en misiones en el ámbito aeroespacial, como parte de este proyecto, se pretende diseñar el sistema de ruedas de reacción para un CubeSat de tres unidades.

Para el diseño de las ruedas de reacción, así como de su respectiva carcasa, se definirán las dimensiones y las propiedades mecánicas del sistema tomando en cuenta las limitaciones físicas establecidas para el diseño de CubeSats, en relación con lo anterior, se realizará la selección de sus componentes y se establecerá la configuración geométrica de las ruedas de reacción que permita obtener los mejores resultados, además se desarrollará un análisis cinemático y dinámico del sistema, llevando a cabo un estudio de estabilidad bajo las condiciones de operación y verificando el correcto funcionamiento del equipo.

Al finalizar este trabajo, se pretende obtener un sistema de ruedas de reacción funcional que pueda ser manufacturado y posteriormente implementado en el SETEC Lab para el desarrollo de pruebas como parte de futuros proyectos.

II. JUSTIFICACIÓN

Como parte de la iniciativa del SETEC Lab por incursionar en el diseño aeroespacial, surge la necesidad de diseñar un sistema de control de actitud por medio de ruedas de reacción, contemplando el diseño mecánico del equipo, el controlador para el posicionamiento del satélite y una simulación del comportamiento del sistema, con el fin de estudiar estos sistemas para emplearlos en misiones espaciales futuras.

Debido a que los satélites se encuentran más allá de la órbita baja terrestre, la atmósfera presenta una menor densidad, esto implica una diferencia considerable en el diseño del equipo encargado de la maniobrabilidad de la nave espacial respecto a una aeronave. Las ruedas de reacción son un mecanismo basado en volantes de inercia que permiten el posicionamiento del pico satélite, el diseño de las mismas debe considerar todos los sistemas mecánicos, las condiciones de operación a las que va a estar sometido el equipo y debe poseer un controlador que permita orientar el satélite.

Los sistemas de control de actitud, son de los elementos más críticos en este tipo de misiones, debido a que la industria para el caso de pico satélites ha optado por diseños más eficientes en vez de más confiables, el diseño requiere de un sistema de control que sea capaz de compensar los fallos que pueda presentar el equipo, garantizando su correcto funcionamiento aún en situaciones adversas [1].

Para demostrar las capacidades del diseño mecánico y del controlador de las ruedas de reacción planteadas, se requiere de una simulación que replique las condiciones a las que va estar expuesto el satélite en su misión, esto con el fin de demostrar el funcionamiento del sistema de ruedas de reacción y analizar los datos que esta misma genere y así contemplar posibles oportunidades de mejora.

Este proyecto permite el desarrollo de una temática acorde a los intereses del equipo de trabajo y además presenta una gran oportunidad de desempeñarse en un área que en el país está limitada, siendo este sistema de control de actitud el primero que se desarrolla en Centroamérica, lo cual permite ampliar el conocimiento en la región en el campo aeroespacial, facilitando así la ejecución de futuros proyectos.

III. ESTADO DEL PROYECTO

El proyecto inicia con una serie de requerimientos establecidos por el SETEC Lab para el diseño de un actuador que será empleado en un CubeSat de 3 unidades, se empieza con una investigación de trabajos previos que se han realizado en el diseño de sistemas de control de actitud, además de un estudio del fundamento teórico que permite el diseño de estos sistemas, una vez completada la primera fase investigativa, se procede con el análisis cinemático y dinámico que permite modelar el comportamiento del sistema.

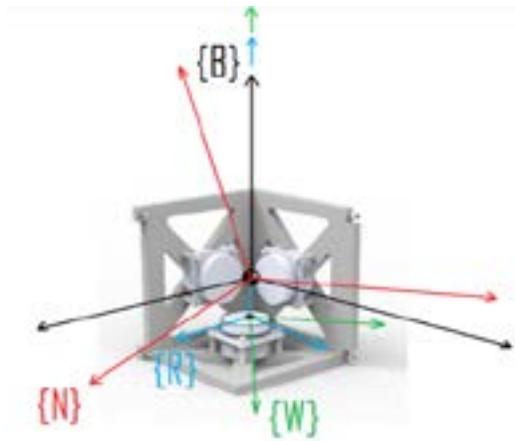


Fig. 1. Ejes de referencia para la elaboración del análisis dinámico del sistema. (Elaboración Propia).

Al investigar los diferentes actuadores mecánicos que permiten orientar el satélite, se realiza una tabla comparativa entre las distintas tecnologías, contemplando una serie de parámetros que son críticos en el sistema, tales como peso del actuador, espacio que ocupa, inercia generada, entre otros, para la selección de la geometría del actuador a emplear, se asignó un peso para cada rubro y se seleccionó la tecnología que obtuvo los mejores resultados.

En el estudio de las tecnologías, se observa lo crítico que es el espacio requerido para el actuador y el peso del mismo, por lo que un sistema motor-eje-actuador no es favorable ya que el volumen que ocupa es mayor del que se tiene disponible, además el peso de estos sistemas es usualmente mayor, por lo que un diseño de motor integrado en el que el actuador cumple la función de rotor, permite un ahorro en espacio y peso, factores críticos para las misiones espaciales.

Posteriormente, dado que el satélite estará expuesto a una serie de perturbaciones externas que los actuadores deben ser capaces de contrarrestar, como lo son el arrastre atmosférico, la presión por radiación solar, el gradiente gravitacional y el efecto por el campo magnético terrestre. Es crítico obtener la magnitud de estos torques, ya que son un parámetro importante del diseño del actuador.



Fig. 2. Vista del sistema de ruedas de reacción en un módulo de CubeSat. (Elaboración Propia).

IV. SIGUIENTES ETAPAS

Las etapas próximas a realizar se dividen en 5 secciones, las cuales son el diseño de los actuadores y la carcasa, la realización de un sistema de control que permita la verificación del diseño, paralelo a todas las etapas se estará realizando la optimización del diseño, siempre determinando oportunidades de mejora, además se realizará un análisis de costos para una eventual construcción del equipo, seleccionando los componentes necesarios y los fabricantes respectivos.

REFERENCIAS

- [1] Y. Bai, D. James, X. Wang, y N. Cui, "Attitude Tracking with an Adaptive Sliding Mode Response to Reaction Wheel Failure," *European Journal of Control*, 2018.
- [2] F. Samarrai, "UVA CubeSat Deployed; Students Seek Contact from Ground Station," Julio 2019.
- [3] A. Mehrpavar, "Cubesat Design Specification," *The CubeSat Program, Cal Poly SLO*, 2014.
- [4] F. Leve, B. Hamilton, y M. Peck, *Spacecraft Momentum Control Systems*. New York: Springer, 2015.
- [5] Sputnix.Org, "Reaction wheel block." [En línea]. Disponible en: <https://sputnix.ru/en/equipment/cubesat-devices/reaction-wheels-block>
- [6] B. Agrawal y M. Platzer, *Styard Hybook for Aerospace Engineers*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [7] H. Schaub y J. Junkins, *Analytical Mechanics of Space Systems*. Blacksburg, Virginia: AIAA Education series, 2009.
- [8] R. Hibbeler, *Engineering Mechanics Dynamics*, 14th ed. New York: Pearson Prentice Hall, 2016.
- [9] F. Beer, R. Johnston, D. Mazurek, y P. Cornwell, *Vector Mechanics for Engineers*, 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2013.
- [10] E. Eitel, "Motion 101: The dynamics of shafts y axles," Noviembre 2000. [En línea]. Disponible en: <https://www.machinedesign.com/motors-drives/article/21832339/motion-101-the-dynamics-of-shafts-y-axles>
- [11] R. Budynas y J. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10th ed. New York: McGraw Hill, 2015.
- [12] R. Mott, E. Vavrek, y J. Wang, *Machine Elements in Mechanical Design*, 6th ed. New York: Pearson, 2018.
- [13] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. New York: Prentice Hall, 2010.
- [14] J. Uicker, G. Penno, y J. Shigley, *Theory of Machines y Mechanics*, 5th ed. New York: Oxford University Press, 2016.
- [15] J. Wertz, *Spacecraft Attitude Determination y Control*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1978.
- [16] A. Doroshin, "Attitude Dynamics, Control y Stabilization of Spacecraft/Satellites."
- [17] S. Hur-Diaz, J. Wirzburger y D. Smith, "Three Axis Control of the Hubble Space Telescope Using Two Reaction Wheels y Magnetic Torquer Bars for Science Observations," 2008.
- [18] Y. Mimasu, G. Ono, K. Akatsuka, O. N. Terui, F. T. Saiki, y Y. Tsuda, "Attitude Control of Hayabusa2 by Solar Radiation Pressure in One Wheel Control Mode," *International Symposium on Space Flight Dynamics*.
- [19] L. Berthourd, M. Swartwout, J. Cutler, D. Klumpar, J. Larsen, y D. Nielsen, "University Cubesat Project Management for Success," *Small Satellite Conference*, 2019.

- [20] H. Kramer y A. Cracknell, "An Overview of Small Satellites in Remote Sensing," *International Journal of Remote Sensing*, 2008.
- [21] S. Jackson, "Cubesat Launch Initiative," Marzo 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.nasa.gov/content/about-cubesat-launch-initiative>
- [22] Irazú: *CubeSat Mission Architecture y Development*. International Astronautical Congress, 2016.
- [23] J. Umaña, "Universidad George Washington y TEC son socios en nueva misión espacial," Noviembre 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.tec.ac.cr/noticias/universidad-georgewashington-tec-son-socios-nueva-mision-espacial?fbclid=IwAR0c6zvNqUxgIRud-5tW9>
- [24] R. Pereira, "Development of a Reliable y Low Cost Miniaturized Reaction Wheel System for CubeSat Applications," 2016.
- [25]. M. Swartwout, "The First One Hundred CubeSats: A Statistical Look," *Journal of Small 26. Satellites*, 2013.
- [26]. C. Hall, *Spacecraft Attitude Dynamics y Control*. Semantic Scholar, 2000.
- [27] D. Doody, *Basics of Space Flight*. NASA Science, 2017.
- [28] R. Garner, "Observatory pointing control," Abril 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.nasa.gov/content/goddard/hubble-space-telescope-pointing-control-system>
- [29] NASA, "Radiation torque sources y effects on spacecraft y spacecraft attitude control system design," Washington DC, Tech. Rep., Octubre 1969.
- [30] R. Vepa, *Dynamics y Control of Autonomous Space Vehicles y Robotics*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2019.
- [31] NOAA, "Wyring of the geomagnetic poles." [En línea]. Disponible en: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/GeomagneticPoles.shtml>
- [32] World Data Analysis Center for Geomagnetism y Space Magnetism, "Magnetic north, geomagnetic y magnetic poles." [En línea]. Disponible en: <http://wdc.kugi.kyotou.ac.jp/poles/polesexp.html>
- [33]. S. Starin y J. Eterno, "Attitude Determination y Control Systems," NASA, Washington DC, Tech. Rep., Enero 2011.
- [34] J. Reijneveld, "Design of the Attitude Determination y Control Algorithm's for the Delfinn3Xt," 2012.
- [35] J. Peraire y S. Widnall, "3D Rigid Body Dynamics: The inertia tensor," 2008. [En línea]. Disponible en: <https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-y-astronautics/16-07-dynamics-fall-2009/lecture-notes/MIT1607F09Lec26.pdf>
- [36] F. Lysis y J. Crassidis, *Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination y Control*. New York: Springer, 2014.
- [37] R. Juvinal y K. Marshek, *Fundamentals of Machine Components Design*, 6th ed. New York: John Wiley sons Inc., 2017.
- [38] *Magnetic Bearing for Reaction Wheels in Space Applications*. World Tribology Congress, 2008.
- [39] G. Silva, A. Datta, y S. Bhattacharyya, *PID Controllers for Time-Delay Systems*. New York: Birkhäuser, 2005.
- [40] K. Åström y T. Hägglund, *Control PID avanzado*. España: Pearson Educación, 2009.

Identificación y modelado dinámico de una mesa vibratoria y una estructura de un piso

Identification and Dynamic Modeling of a Shake Table and a Single Floor Structure

Erick Arturo Cortés Gutiérrez

*Estudiante, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
e-mail: erick.cortes@ucr.ac.cr*

Orlando Arrieta Orozco

*Investigador, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica
e-mail: orlando.arrieta@ucr.ac.cr*

Sergio Lobo Aguilar

*Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
e-mail: sergio.lobo@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Amortiguamiento, control estructural, espectro de densidad de potencia, modelado dinámico, respuesta en frecuencia.

I. INTRODUCCIÓN

El control estructural es un área que ha crecido rápidamente en los últimos años, debido a su gran ámbito de aplicación y valor añadido en este tipo de estructuras [1,2,3]. La aplicación de estas técnicas requiere, en primer lugar, el conocimiento de modelos dinámicos simples de las estructuras a controlar, lo cual presenta un reto considerable, ya que éstas son complejas y con muchos grados de libertad [2]. Este trabajo presenta una estrategia simple de modelado basada en respuestas en frecuencia.

En el LANAMME UCR se cuenta con una mesa vibratoria Quanser Shake Table II [4], utilizada para simular el comportamiento de estructuras ante sismos. Cuenta con un sistema de control proporcional-derivativo (PD) con prealimentación de aceleración, que controla la posición de su motor de acuerdo a una referencia dada. Se identificó experimentalmente su respuesta en frecuencia de lazo cerrado experimental para evaluar su desempeño real en simulación de sismos. Adicionalmente, se cuenta con una estructura de un piso con un amortiguador, que se ensambla sobre la mesa vibratoria. Este amortiguador puede operar en modo pasivo, con su motor apagado, o en modo activo, con su motor detectando y contrarrestando los cambios de posición para estabilizar la estructura ante perturbaciones. Se identificó la respuesta en frecuencia experimental

de la estructura en presencia de perturbaciones, bajo cada modo de operación del amortiguador, para comparar el desempeño de éstos.

II. METODOLOGÍA

Para obtener la identificación experimental de la dinámica de la mesa sin carga, se utilizó ruido blanco gaussiano de banda limitada en su entrada, y se obtuvo con MATLAB, a partir de las mediciones de la entrada y la salida, el espectro de densidad de potencia (PSD) cruzado G_{xy} , y el de la señal de entrada G_{xx} . El cociente de estos espectros corresponde a la respuesta en frecuencia experimental de la mesa [5]:

$$H = 100 \left(\frac{d_x}{d_y} \right)^{m_x/m_y} \quad (1)$$

El ruido utilizado se limitó a un ancho de banda de 17 Hz para operar dentro del rango máximo absoluto permitido por la mesa: 20 Hz. Con este fin, se generó un vector de ruido blanco gaussiano con media cero de 241 s en MATLAB, y se filtró a 17 Hz con un filtro de Butterworth, de ocho polos. La identificación de los datos obtenidos en una ecuación de una respuesta en frecuencia se hizo mediante el System Identification Toolbox de MATLAB, y se comparó con su valor teórico dado por el fabricante [4]:

$$H_{ic,teórica}(s) = \frac{8883}{s^2 + 141,4s + 8883} \quad (2)$$

Posteriormente, este método se empleó para obtener la respuesta en frecuencia de una estructura de un piso colocada sobre la mesa, con dos tipos distintos de amortiguamiento: activo y pasivo.

III. RESULTADOS

Identificación experimental de la mesa vibratoria

La respuesta en frecuencia experimental de la mesa en lazo cerrado, obtenida para esta prueba, se muestra (en azul) en la Fig. 1, junto con la respuesta en frecuencia correspondiente a la ecuación (2) para el comportamiento teórico de la mesa a lazo cerrado (en naranja). Se observa como la frecuencia de corte experimental obtenida para la mesa, correspondiente a un atenuamiento de 3 dB en la respuesta (frecuencia de corte de media potencia), es de 8,98 Hz para el modelo identificado, mientras que es de 14 Hz en el modelo teórico. Esto evidencia que, debido a factores externos a la operación de la mesa, su desempeño real se ve disminuido con respecto al teórico reportado.

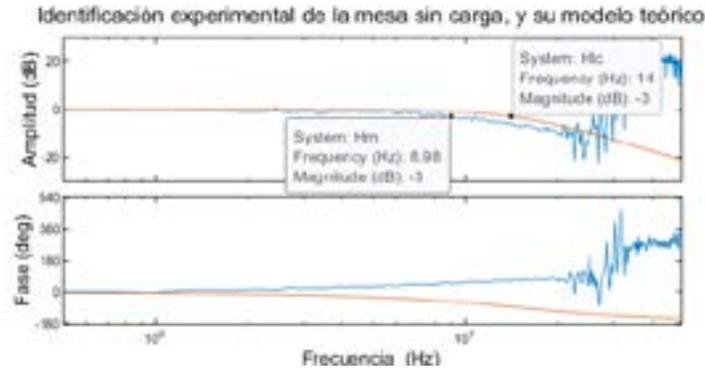


Fig. 1: Respuesta en frecuencia de la identificación experimental y del modelo teórico de la mesa vibratoria.

Se realizó para estos datos experimentales una identificación de función de transferencia con el System Identification Toolbox de MATLAB, operando en modo de datos en frecuencia, utilizando como entrada G_{xx} y como salida G_{xy} . Se obtuvo la siguiente función de transferencia identificada:

$$H_{Ic,experimental}(s) = \frac{51,43s+12,55}{s^2+55,08s+1} \tag{3}$$

Es relevante notar que la función de transferencia identificada que mejor se ajustaba a los datos fue la de dos polos reales y un cero, mientras que la teórica posee únicamente dos polos complejos.

Modelado dinámico de la estructura de un piso

Se identificó, utilizando el método del ruido gaussiano empleado anteriormente, la respuesta en frecuencia del desplazamiento relativo del primer piso con respecto a la aceleración del suelo. para cada uno de los modos de operación del amortiguador. Se utilizó el mismo ruido de la sección anterior, alimentado como entrada de la mesa vibratoria, que corresponde al suelo de la estructura. Los resultados para cada caso se presentan a continuación.

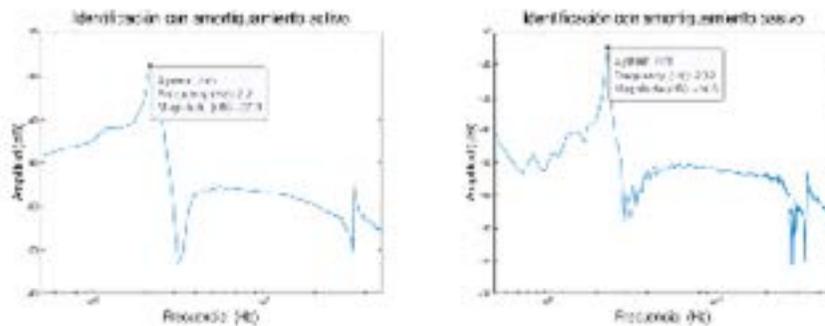


Fig. 2. Respuestas en frecuencia experimentales obtenidas para la estructura de un piso con amortiguamiento activo y pasivo.

Se observa que los sistemas identificados poseen una resonancia en la frecuencia de 2,32 Hz para amortiguamiento pasivo, y de 2,2 Hz para el amortiguamiento activo. Este componente de frecuencia es común en los sismos y puede provocar daños en una estructura. Se puede observar que el pico de resonancia fue 13,4 dB menor cuando se utilizó amortiguamiento activo con respecto al pasivo, evidenciando así el mérito de esta técnica para mitigar el efecto de un sismo.

REFERENCIAS

- [1] B. F. Spencer y S. Nagarajaiah, "State of the Art of Structural Control", *Journal of Structural Engineering*, vol. 129, no. 7, Jul. 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:7(845).
- [2] G. W. Housner et al., "Structural Control: Past, Present and Future", *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 123, no. 9, Set. 1997, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:9(897).
- [3] S.J. Dyke, B.F. Spencer, M.K. Sain y J.D. Carlson, "Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction", *Smart Materials and Structures*, vol. 5, no. 5, Oct. 1996, doi: 10.1088/0964-1726/5/5/006.
- [4] Quanser Inc., "*Quanser Shake Table II User Manual*", 2011.
- [5] J. Bendat y A. G. Piersol, *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc, 2010.

Análisis paramétrico de esfuerzos en la soldadura de conexiones circulares bridadas

Parametric stress analysis at the welding of circular flanged connections

Denis Abarca Quesada

*Profesor, Escuela de Ingeniería Mecánica. Laboratorio de Mecánica Computacional
e-mail: denis.abarca@ucr.ac.cr*

Graciela López Campos

Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica

Palabras clave:

Analisis de elemento finito, conexiones bridadas, esfuerzos soldadura.

I. PROBLEMA

Las conexiones bridadas son ampliamente utilizadas como medio de unión de elementos estructurales tales como torres de comunicación [1], estructuras para turbinas de viento [2] entre otras aplicaciones. El complejo comportamiento de estas conexiones al soportar cargas externas puede provocar la falla del perno o de la soldadura entre la brida y el tubo por fatiga [3]. Asimismo, puede darse la plasticidad en la brida [4] o la falla por pandeo local en el tubo al soportar momentos flectores [5].

Esto ha provocado la necesidad de estimar los esfuerzos en la conexión de manera simple y precisa. De esta manera, el efecto de los parámetros geométricos de la conexión sobre la carga en el perno ha sido extensamente estudiado. Así por ejemplo, Cao et al. [6] desarrollaron un modelo que permite obtener la carga en los pernos. Seidel et al. [7] desarrolló un modelo recursivo que permite determinar la fuerza axial en el perno así como el momento flector que soporta. Couchaux et al. [5] obtuvo un modelo que permite determinar la distribución angular de fuerzas internas a largo del espesor del tubo.

Por otro lado, a diferencia de los pernos, el diseño de la soldadura se ha llevado a cabo basándose en códigos de diseño como el EUROCODE 3. Sin embargo, van-Long et al. [3] mostró que el uso de estos códigos pueden subestimar los esfuerzos que actúa sobre la soldadura conduciendo a diseños inapropiados. De manera semejante, [8] recomienda el uso de métodos numéricos en lugar de las fórmulas que brindan los códigos para el diseño de las soldaduras.

De esta forma, a pesar de la existencia de modelos analíticos para estimar esfuerzos en el perno se debe utilizar en última instancia métodos numéricos para el diseño satisfactorio de toda la conexión. Además de esto, el efecto de los parámetros geométricos en la resistencia de la soldadura no ha recibido la misma atención que el análisis sobre las reacciones en el perno. Asimismo, Couchaux et al. [5] recalca que el análisis de esfuerzos en la soldadura requiere más investigación. Por lo tanto, en este trabajo se llevará a cabo un análisis paramétrico con el fin de determinar la influencia de la geometría de la conexión en los esfuerzos en la soldadura. Se espera que los resultados obtenidos puedan servir como insumo para la elaboración de un modelo teórico que permita estimar los esfuerzos en la soldadura.

II. METODOLOGÍA

Para el análisis se llevará a cabo un modelo de elemento finito parametrizado elaborado en ANSYS®. La selección de los parámetros del modelo se basó en análisis semejantes tomados de la literatura. En la Fig. 1 se muestran los parámetros geométricos considerados así como el modelo hecho en ANSYS®.

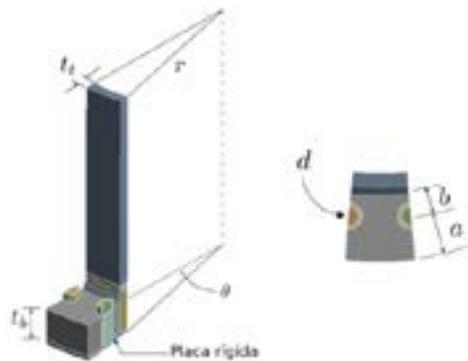


Fig 1. Geometría del modelo y los parámetros empleados para la elaboración del estudio. Fuente: Elaboración propia.

El material del tubo así como de la brida es acero estructural A36 mientras que el material del perno es acero de alta resistencia SAE grado 5. La ejecución del modelo se lleva a cabo en dos pasos. En el primer paso se aplica la precarga al perno cuya magnitud corresponde al 0.9 veces la carga de prueba según la recomendación de Budynas et al. [9]. En el segundo paso se aplica una carga axial asociada a 0.5 veces el esfuerzo de fluencia del tubo. Los parámetros de salida del modelo corresponden a la carga axial y momento generado en el perno así como el esfuerzo en la soldadura que une el tubo con la brida.

III. RESULTADOS

Se presentan a continuación algunos resultados preliminares obtenidos al automatizar la ejecución y recolección de datos. En la Fig. 2 se muestra el esfuerzo en la soldadura así como la

carga en el perno en función del número de pernos. Se pretende realizar más análisis empleando números adimensionales.

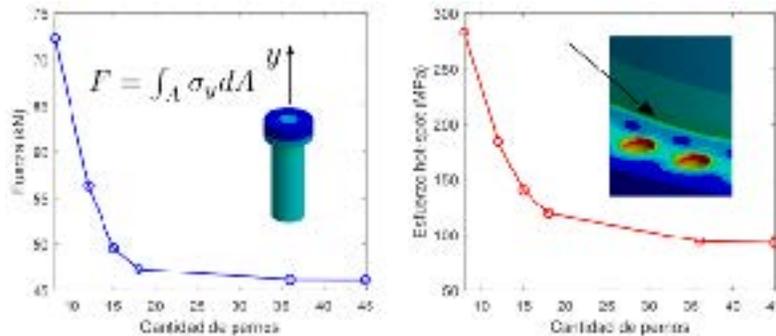


Fig 2. Izquierda: carga en el perno en función del número de pernos. Derecha: Esfuerzo de von Mises en la soldadura empleando el método hot-spot en función del número de pernos.

REFERENCIAS

- [1] H. Z. Deng, , C. Li, X. Song, F. Li, P.C. Fu, “Tensile resistance and design model of an external double-layered flange connection”. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 161, pp. 309-327, October 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.07.013>
- [2] M. Pavlović, “Connections in towers for wind converters, part I: Evaluation of down-scaled experiments”. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 115, pp. 445-457, December 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.09.002>
- [3] H. Van-Long, J. Jean-Pierre, D. Jean-François, “Behaviour of bolted flange joints in tubular structures under monotonic, repeated and fatigue loadings I: Experimental tests”. *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 85, pp. 1-11, June 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.02.011>
- [4] F. Huang, ,D. Zhang, W. Hong, B. Li, “Mechanism and calculation theory of prying force for flexible flange connection”. *Journal of Constructional Steel Research*, vol 132, pp. 97-107, May 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.01.014>
- [5] M. Couchaux, M. Hjjaj, I. Ryan, A. Bureau, “Bolted circular flange connections under static bending moment and axial force”. *Journal of Constructional Steel Research*, vol 157, pp. 314-336, June 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.12.024>
- [6] J.J. Cao, A.J. Bell, “Determination of bolt forces in a circular flange joint under tension force”. *International journal of pressure vessels and piping*, vol. 68(1), pp. 63-71, August 1996. Doi: [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(95\)00040-2](https://doi.org/10.1016/0308-0161(95)00040-2)
- [7] M. Seidel, P. Schaumann, “Ermittlung der Ermüdungsbeanspruchung von Schrauben exzentrisch belasteter Flanschverbindungen”. *Stahlbau*, vol. 70(7), pp. 474-486. March 2013. Doi: <https://doi.org/10.1002/stab.200101660>
- [8] A. F. Hobbacher. *Recommendations for fatigue design of welded joints and components*. Springer International Publishing, 2016.
- [9] R. G. Budynas, J. K. Nisbett. *Shigley’s Mechanical Engineering Design*. 10th edition. New York: McGraw-Hill, 2015.

Aplicación de la simulación en tiempo real al estudio de protecciones en sistemas eléctricos

Application of real-time simulation to the study of protections in power systems

Oscar Núñez Mata

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
E-mail: oscar.nunezmata@ucr.ac.cr*

Laura Rodríguez Meoño

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
E-mail: laura.rodriguezmeono@ucr.ac.cr*

Isaac Jiménez Vega

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
E-mail: isaac.jimenezvega@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Corriente de falla, interruptor, protección, relé, simulación.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos de potencia son los encargados de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica; y dada la importancia que tiene la electricidad en la vida cotidiana, es necesario asegurar su operación confiable, y con una continuidad del suministro. En la etapa de transmisión se pueden dar distintos tipos de fallas, siendo las de sobre corriente una con la mayor incidencia. Éstas pueden ser producidas por diversas causas, entre las más comunes, por conexiones indeseadas entre las líneas por medio de objetos ajenos a las líneas, provocando corto circuitos.

La potencial ocurrencia de fallas en las líneas hace necesario el diseño de esquemas de protección adecuados, con el objeto de evitar daños, tanto, a los presentados en las compañías eléctricas, como en las instalaciones de los usuarios. Para ello, es necesario conocer el comportamiento y la respuesta de los sistemas de potencia ante fallas; de modo que por medio de simulación se analizan ciertas características tales como duración, dirección, amplitud, entre otros, de las corrientes de falla. Toda la información recopilada es necesaria para la selección y parametrización de los dispositivos protecciones.

El presente trabajo busca mediante el software de simulación en tiempo real Hypersim de la em-presa OPAL-RT (con sede en Quebec, Canadá), establecer un modelo de distintas redes eléctricas de prueba, para la simulación de los sistemas de transmisión, y hacer pruebas de los sistemas de

protección frente a fallas. Se propone realizar simulaciones en tiempo real evaluando tres momentos de una falla, que son: antes, durante, y después del despeje de la misma por parte de los sistemas de protección. El primer sistema modelado consiste en una red de cuatro barras, y el segundo es una red de treinta y siete barras, ambas redes utilizan los datos estandarizadas del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés).

Entre los resultados obtenidos se tiene que, ante distintas fallas, es posible simular el comportamiento de las tensiones y corrientes. Dichos valores simulados están acordes con los encontrados en la literatura, con errores menores al 17%. Durante la falla se observan los efectos sobre las distintas fases del sistema eléctrico, tales como sobre corrientes, desfases y cambios en la tensión. Además, se puede comprobar la activación de la protección. Este paso es fundamental para avanzar en la configuración “hardware-in-the-loop”, que permitirá en un futuro probar dispositivos reales de protección.

II. SIMULACIÓN EN TIEMPO REAL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

La realización de simulaciones en tiempo real para sistemas eléctricos de potencia es de gran utilidad en la verificación de distintos fenómenos y eventos, como es el caso del funcionamiento de los sistemas de protección. Lo anterior permite establecer una dinámica de entradas y salidas congruentes con el espacio temporal de los fenómenos físicos representados, permitiendo observar un comportamiento apegado a la realidad. A diferencia de la simulación convencional, que logran resultados más rápidos o más lentos que el fenómeno físico real. Esto permite medir el tiempo de respuesta (entre otras variables) de un dispositivo de protección eléctrica, siempre y cuando la simulación en cuestión sea procesada por un computador diseñado para simulaciones en tiempo real. La Escuela de Ingeniería Eléctrica, de la UCR cuenta con un simulador en tiempo real de la marca OPAL-RT. [1]

III. PROPUESTA METODOLÓGICA

El presente proyecto de investigación propone una metodología de cuatro pasos, como sigue:

1. Desarrollar una investigación bibliográfica de los sistemas eléctricos de potencia, estudiando aspectos como: fallas, protecciones y modelado.
2. Analizar dos modelos estandarizados del IEEE. Se recopilan los datos de los sistemas eléctricos seleccionados para ser estudiados e implementados en el software de simulación.
3. Implementar los dos modelos en el software de simulación. Una vez que se obtuvieron los datos de los dos modelos estandarizados, se procedió con la modelación en el software Hyper-sim.
4. Desarrollar las simulaciones de fallas y análisis de resultados. Una vez que el modelo fue programado se procedió a simular y graficar las variables estudiadas. Se analiza la simulación con el fin de hallar una correspondencia a los fenómenos físicos, y los despejes de las fallas. En

caso de no hallar una correspondencia, se revisa el modelo con la intención de encontrar algún dato erróneo.

Las figura 1 y 2 muestran el diagrama unifilar y modelo en Hypersim del sistema de 4 barras de IEEE.

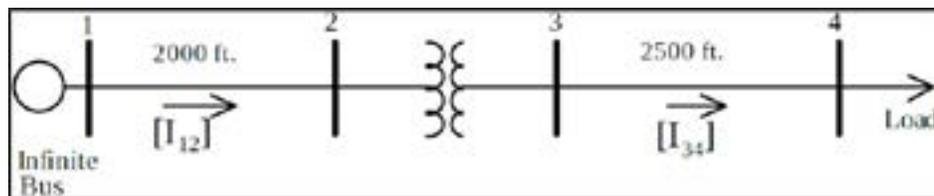


Fig. 1: Diagrama unifilar del sistema estándar de 4 barras IEEE. Fuente: [2].

IV. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Utilizando el software Hypersim, se realizaron distintos tipos de fallas para estudiar el comportamiento de las variables eléctricas durante los eventos de cortocircuito. Para ilustración de los resultados obtenidos, la figura 3 muestra el caso de una falla bifásica a tierra.

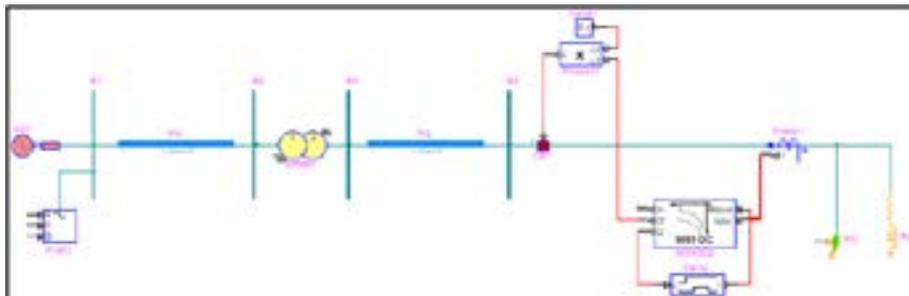


Fig. 2. Modelo del sistema de 4 barras en Hypersim con protección de sobre corriente.

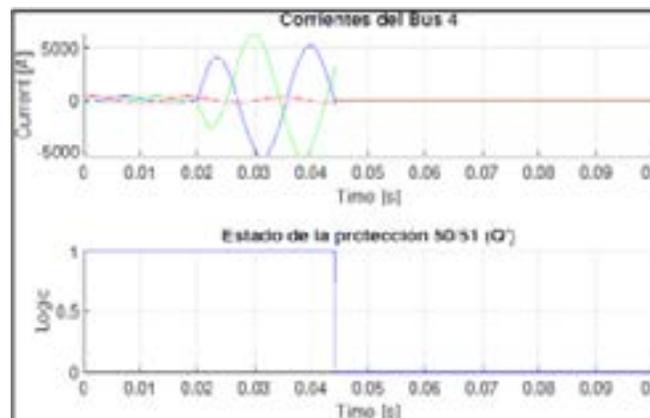


Fig. 3. Simulación de una falla bifásica a tierra y despeje mediante una protección de sobre corriente.

La figura 3 presenta la ocurrencia de la falla. Se observan las fases involucradas, con un cambio en la corriente. El despeje de la falla se da en aproximadamente 25 ms por medio del relé de protección.

CONCLUSIONES

Se logró modelar y simular eventos de falla en sistemas de potencia en dos redes de prueba del IEEE, que fueron la de 4 barras y 37 barras, obteniendo resultados cercanos a los expuestos en la literatura. Adicionalmente, se corroboró desde la teoría de fallas, cuál es más severa o menos severa, hasta la demostración de la funcionalidad, el efecto sobre los sistemas de potencia y la importancia de los sistemas de protección. Este trabajo es un paso previo para desarrollar la configuración “hardware-in-the-loop”, lo que permitirá en un futuro probar dispositivos de protección reales en la simulación en tiempo real. Lo anterior tiene una gran importancia para las compañías eléctricas, quienes podrán probar sus esquemas y dispositivos, y hacer ajustes en caso necesario para garantizar una operación correcta.

REFERENCIAS

- [1] Bélanger, Venne & Paquin. (2010). “The What, Where and Why of Real-Time Simulation”. 09/09/2020, de *IEEE* Sitio web: https://blob.opal-rt.com/medias/L00161_0436.pdf
- [2] P. Schneider et al. “Analytic Considerations and Design Basis for the IEEE Distribution Test Feeders,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2017.

Diseño y ajuste en línea de un estabilizador de sistemas de potencia

Design and online tuning of a power system stabilizer

Donald Siles Granados

*Estudiante, Maestría Académica en Ingeniería Eléctrica
con énfasis en Sistemas de Potencia, Universidad de Costa Rica
e-mail: dsilesg@gmail.com*

Palabras clave:

Algoritmo de Prony, estabilidad de pequeña señal, estabilizador de sistemas de potencia, regulador automático de tensión.

I. PROBLEMA

Las oscilaciones de potencia en los sistemas eléctricos son indeseables, especialmente las interárea. Éstas tienen consecuencias negativas como, por ejemplo: limitar la potencia trasegada entre dos áreas de control o, en el caso más crítico, el colapso del sistema. Su estudio se enmarca dentro de la estabilidad de pequeña señal del ángulo de rotor [1] y la solución por excelencia a este problema es el uso y correcta sintonización de los estabilizadores de sistemas de potencia (PSS por sus siglas en inglés). El PSS es un elemento o grupo de elementos que proveen una entrada adicional al regulador automático de tensión (RAT) para mejorar el desempeño dinámico de un sistema eléctrico de potencia (SEP). Puede tener una o varias entradas tales como: velocidad de la flecha (rotor), frecuencia y/o la potencia eléctrica [2].

La herramienta de análisis tradicionalmente utilizada para determinar los modos de oscilación de un SEP y el ajuste de los PSS es el análisis modal. Para usarla se necesita el conocimiento veraz de los parámetros y funciones de transferencia que modelan todos los componentes del sistema, incluyendo los controles, información que no necesariamente está disponible. Además, los resultados obtenidos dependen de factores como: el punto de operación y el despacho de generación.

Por lo anterior, aunque el análisis modal es una herramienta sumamente completa, su aplicación en sistemas donde no se conocen con total certeza todos los elementos que lo componen no es recomendable. Además, la diversidad y complejidad de los modos de oscilación de un SEP algunas veces dificulta que las oscilaciones poco amortiguadas puedan ser solucionadas con un único PSS o bien, con un único ajuste.

II. PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones en la práctica para usar el análisis modal abren la puerta a una gran pregunta: ¿es posible determinar los modos de oscilación de un SEP y ajustar los PSS sin utilizar el análisis modal?

III. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La parte izquierda de la Fig 1 muestra la respuesta en el tiempo al perturbar en $t=1$ s un sistema de prueba conformado por dos áreas de control sin PSS en sus generadores. Mientras en que la parte derecha se observa la respuesta en idénticas condiciones, pero esta vez cada generador tiene un PSS con la capacidad de ajustarse en línea. Es claro que el amortiguamiento aumenta al incluir estos estabilizadores.

Ahora bien, nótese que hasta aproximadamente $t=4.6$ s ambas respuestas son iguales en los generadores correspondientes, y es aquí donde radica el punto fundamental para contestar la pregunta planteada en esta investigación. Cada PSS utilizado en la simulación de la derecha no es una simple función de transferencia pues está construido como una máquina de estados que realiza, entre otras, las siguientes acciones:

1. Determina cuándo el generador cambia del régimen permanente al transitorio.
2. Mediante el algoritmo de Prony [3] analiza las muestras de la potencia en los terminales del generador para estimar un modelo matemático que describa la respuesta transitoria del SEP. Las muestras a utilizar están contenidas dentro de una ventana constante de 120 muestras que inicia al detectar el régimen transitorio y se desplaza en el tiempo conforme avanza la simulación. Además, para dar por válido un modelo se emplean criterios de calidad y estabilidad temporal de la estimación.
3. Con el modelo estimado y en caso de ser necesario determina el ajuste requerido para aumentar el amortiguamiento del SEP. Luego de esto modifica el aporte a través del punto suma del RAT.
4. Determina cuándo el generador se encuentra nuevamente en una condición de equilibrio, finalizando su aporte y quedando en espera de un nuevo régimen transitorio.

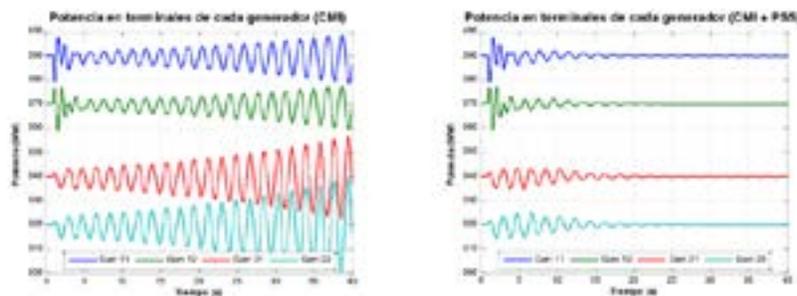


Fig 1. Respuesta de un sistema de prueba sin PSS (izquierda) y con PSS ajustables en línea (derecha).

El modelo estimado es consistente con los resultados obtenidos con el análisis modal. Por lo anterior y con base en: dicho modelo, los valores conocidos en cada generador (sus parámetros, la impedancia externa vista desde sus terminales y el ajuste del RAT) y considerando como realimentación la frecuencia (también desde terminales), cada máquina de estados utiliza un modelo linealizado de un generador conectado a una barra infinita [2] para determinar las constantes de la ecuación en diferencias que calcula el aporte al punto suma del RAT.

Como los PSS son independientes entre sí, cada uno decide el momento en que inicia y finaliza su aporte. Para el caso mostrado en la Fig 1 el orden de inicio es: Gen22 (4.6 s), Gen11 (5.70 s), Gen21 (6.02 s) y Gen12 (9.22 s). De forma similar, finalizan su aporte en el siguiente orden: Gen12 (34.30 s), Gen11 (36.20 s), Gen22 (38.92 s) y Gen12 (38.98 s).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los PSS se pueden ajustar en línea a partir de las componentes frecuenciales de la potencia eléctrica en los terminales de un generador, aumentando el amortiguamiento de las oscilaciones interárea pobremente amortiguadas al realimentar a través de ecuaciones en diferencias la frecuencia en terminales, brindando independencia del conocimiento de los modelos matemáticos y funciones de transferencia de todo el SEP. Con lo cual se concluye que efectivamente se pueden determinar los modos de oscilación y ajustar los PSS de un SEP utilizando el análisis de Prony como herramienta de estimación y prescindiendo así del análisis modal.

REFERENCIAS

- [1] IEEE, *Stability definitions and characterization of dynamic behavior in systems with high penetration of power electronic nterfaced technologies*, 2020.
- [2] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, Palo Alto, California: McGraw-Hill, Inc., 1994, pp. 17-39, 699-716.
- [3] S. V. Gómez Albán, *Diagnóstico de fallas en sistemas de transmisión por medio del algoritmo de Prony*, Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2016.

Enlace inalámbrico para pruebas de convertidor resonante de potencia

Wireless Link for Power Resonant Converter Testing

Jose David Murillo

*Profesor, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
e-mail: jose.murillorodriguez@ucr.ac.cr*

Teodoro Willink

*Profesor, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
teodoro.willinkcastro@ucr.ac.cr*

Juan Manuel Arteaga

*Profesor becario, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
juan.arteagasaenz@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Conmutación síncrona, convertidor resonante, enlace inalámbrico, radiofrecuencia, transmisión de potencia inalámbrica.

I. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Uno de los usos principales de convertidores electrónicos de potencia resonantes es la transmisión de potencia inalámbrica (TPI). Aplicaciones como dispositivos electrónicos portátiles, dispositivos médicos implantados, satélites de energía solar, vehículos eléctricos (EV) e incluso vehículos aéreos no tripulados (UAVs), tienen el reto común de la separación espacial de la fuente de alimentación y el punto de consumo. Es aquí donde la TPI encuentra un nicho especial de uso, el cual se justifica además por el aumento de flexibilidad y movilidad que brinda en esas aplicaciones [1].

La conmutación síncrona se ha convertido en una de las formas típicas de aumento de eficiencia en convertidores resonantes. El intercambio de los elementos pasivos de conmutación en la etapa de rectificación por elementos activos controlados de forma síncrona, ha mostrado prometedores resultados en la disminución de pérdidas energéticas asociadas a la conducción en convertidores resonantes [2].

Motivación

Con el fin de evaluar el impacto de la conmutación sincrónica en aplicaciones de TPI, es necesario idear una solución al enlace necesario entre la etapa rectificadora y la inversora de un

convertidor resonante. El estudio de diversos escenarios y experimentos de convertidores resonantes necesita la participación del enlace que provea una sincronía en las señales de conmutación.

II. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El diagrama típico de un convertidor resonante utilizado en TPI se presenta en la Fig. 1. La necesaria creación del enlace representado por las líneas grises punteadas, debe cumplir ciertos requisitos. La naturaleza de la aplicación implica que el enlace de comunicación sea inalámbrico. Además, se debe garantizar que en ambos puntos, la señal esté sincronizada, para un correcto funcionamiento de la conmutación. La resonancia de la TPI puede presentar problemas de interferencia en el enlace, por lo que es necesario establecer rangos de frecuencias que aseguren la no intervención de estos problemas. Y, finalmente, al ser un esquema de pruebas para estudiar el impacto de los convertidores, el enlace debe estar formado por elementos disponibles de forma comercial que contengan plataformas de prueba integradas.

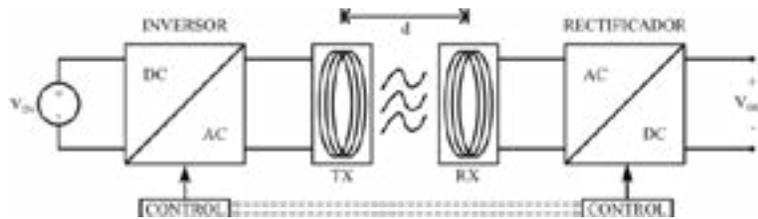


Fig. 1. Esquema típico de convertidor resonante con conmutación síncrona usado para TPI. Adaptado de [1] y [2].

III. DESARROLLO Y RESULTADOS

Se propone el esquema de sistema de comunicaciones electrónico de la Fig. 2. para cumplir los requerimientos necesarios para el desarrollo de las pruebas. El diseño de este sistema se divide en 2 sub-bloques de acuerdo a su ubicación: 1) sub-bloque transmisor y 2) sub-bloque receptor. Ambos sub-bloques son diferentes y sus componentes se adaptan a los requerimientos en cada punto. Considerando una frecuencia de resonancia del convertidor de 13.56 MHz, la frecuencia de transmisión se establece en 915 MHz para evitar interferencia. Estas dos frecuencias corresponden a bandas de radio industriales, científicas y médicas (ISM).

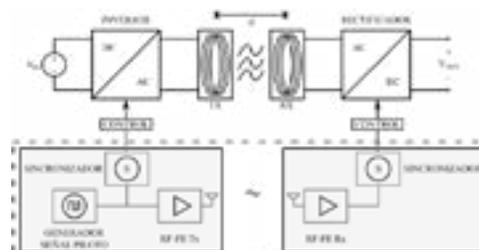


Fig. 2. Esquema típico de convertidor resonante con conmutación síncrona y su enlace inalámbrico para pruebas.

A. Transmisor

Este sub-bloque está ubicado en la etapa inversora del convertidor. Está constituido por un generador de señal piloto, la cual se establece a la misma frecuencia de resonancia, 13.56 MHz. Una etapa de sincronización, basada en un sistema de lazo de enganche de fase (PLL) que asegura correcto seguimiento de fase de la señal piloto y la inyecta en el sistema de control de la conmutación del inversor. Finalmente, una interfaz de radiofrecuencia (RF-FE Tx) acondiciona la señal piloto para transmitirla hacia el sub-bloque receptor a 915 MHz.

La elección de los componentes de hardware (HW) comerciales para este sub-bloque se basó en el cumplimiento de los requerimientos, en la disponibilidad comercial de cada componente y presencia de su propia plataforma de evaluación. Para el generador de la señal piloto se elige el componente HMC703LP4E de Analog Devices [3], que corresponde a un sintetizador fraccional con oscilador de cristal incluido. La etapa de sincronización se implementa con el mismo componente HMC703LP4E, ya que dentro de su funcionamiento posee un PLL que permite lograr el seguimiento de fase síncrono necesario. Para la interfaz de radiofrecuencia, se utiliza el componente SKY65313-21 de Skyworks [4]. Este elemento es compatible con bandas ISM e incluye un amplificador de alta eficiencia, por lo que se acopla a la robustez necesaria ante la resonancia del convertidor.

B. Receptor

Se ubica en la etapa rectificadora y está constituido por una interfaz de radiofrecuencia (RF-FE Rx) que recibe la señal piloto a 915 MHz y la acondiciona a 13.56 MHz. La etapa de sincronización se asegura de ofrecer el seguimiento de fase necesario. Esto se logra con el uso de un sistema PLL que, además, brinda la flexibilidad de modificación de la fase para el funcionamiento correcto del rectificador.

La disponibilidad y flexibilidad de los componentes del transmisor hace que la implementación del receptor se base en los mismos. Para la interfaz de radiofrecuencia se utiliza el SKY65313-21, pues también tiene la funcionalidad de recepción con amplificador de bajo ruido incorporado. Para la etapa de sincronización, se utiliza el HMC703LP4E, pues su funcionamiento como PLL tiene además un modo de control de fase a través de modulación. De esta forma se brinda el control sobre la fase necesario para los elementos activos de conmutación del rectificador.

CONCLUSIONES

Los componentes con disponibilidad comercial que constituyen la propuesta del enlace fueron encontrados. Según las especificaciones de los mismos, es factible realizar las pruebas necesarias.

El siguiente paso es comprar los componentes, interconectarlos, probar y medir según las pruebas necesarias. Se propone la medición del desfase en el rectificador y la valoración de la eficiencia del convertidor, lo cual es asequible con las plataformas de prueba de los componentes.

REFERENCIAS

- [1] Z. Zhan, H. Pang, A. Georgiadis, C. Cecati, “Wireless Power Transfer—An Overview”, en *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2019, pp. 1044–1058, doi: 10.1109/TIE.2018.2835378.
- [2] J. Rivas, O. Letterman, Y. Han, D. Perreault, “A Very High Frequency DC–DC Converter Based on a Class Φ 2 Resonant Inverter”, en *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2011, pp. 2980–2992, doi: 10.1109/TPEL.2011.2108669.
- [3] HMC703LP4E Specification Manual, Analog Devices. (2013) [Online] Disponible: <https://www.mouser.com/datasheet/2/609/hmc703-1504225.pdf>
- [4] SKY65313-21: 900 MHz Transmit/Receive Front-End Module. (2017) [Online] Disponible: https://www.mouser.com/datasheet/2/472/SKY65313_21_202121C-1146756.pdf

Flujo en compuerta inferior de represa bidimensional por el método de SPH

Flow under two-dimensional dam sluice gate using SPH

Juan Gabriel Monge-Gapper

Profesor en la Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica

e-mail: juan.mongegapper@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Canal abierto, compuerta, Hidrodinámica de Partículas Suavizadas, modelo analítico, represa.

Se consideró la aplicación del método numérico de Hidrodinámica de Partículas Suavizadas (SPH) a un caso conocido de flujo bidimensional en un canal abierto para el que se conoce solución analítica con el propósito de contrastarlas desde un punto de vista numérico como aproximación a las observaciones experimentales.

I. DELIMITACIÓN DEL MODELO

Para explorar los efectos de fronteras discontinuas, se eligió el caso de una presa larga bidimensional que descarga por una compuerta inferior, lo que permitirá valorar los efectos de la frontera que modela la presencia de la compuerta y si se forma la vena contracta a la descarga de la apertura. Como referente experimental se usa el caso estudiado para una presa con una relación de profundidad a longitud de 1:50 para la que se conoce solución analítica [1] y existen datos experimentales concordantes [2]. En este estudio se presentan los resultados de una represa con una compuerta inferior abierta en un 20% de la profundidad del fluido, para un único instante de referencia correspondiente a $t = 5$ s después de la apertura de compuerta.

Para efectos de la comprobación que se describe en este documento, se elaboró un programa original del autor (Gap-SPH) que implementa el método de SPH tridimensional según la formulación de Liu y Liu [3] y se aplicaron las fronteras al caso en cuestión en el que el fluido tiene 1,00 m de profundidad y 50,00 m de largo; la compuerta abierta son los primeros 0,2 m del fondo. Estas medidas son idénticas a las descritas en el experimento en un modelo físico [2]. Se consideró agua limpia con una densidad de $\rho = 998,0 \text{ kg/m}^3$ y una viscosidad de $\mu = 1,002 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.

En cuanto a los parámetros para el modelo SPH, se usaron $N = 20\,000$ partículas bidimensionales con un tamaño de $\Delta x = 0,05 \text{ m}$ para conformar el fluido; las fronteras inmóviles de 2 m x 100 m, que incluyen la parte cerrada de la compuerta, se construyeron con $N_v = 8160$ partículas virtuales

con un tamaño de $\Delta x_i = 0,025 \text{ m}$. No se aplicaron algoritmos especiales de estabilización numérica y la resolución temporal de $\Delta t = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ se eligió según el criterio de Verlet [4] para garantizar convergencia.

II. RESULTADOS NUMÉRICOS

La solución numérica con estos parámetros muestra exactitud razonable respecto a la analítica en términos generales, como se puede ver en la Fig. 2, en donde se compara directamente aplicando las ecuaciones de flujo poco profundo aplicadas a las fronteras de este caso. Como es evidente, hay irregularidad en la mitad superior del fluido y un atraso en la mitad inferior. En cuanto al atraso, en principio puede mejorarse si se incrementa la resolución del modelo utilizando un número significativamente mayor de partículas, pero esto incrementa excesivamente el costo computacional para la ganancia relativamente menor en exactitud.

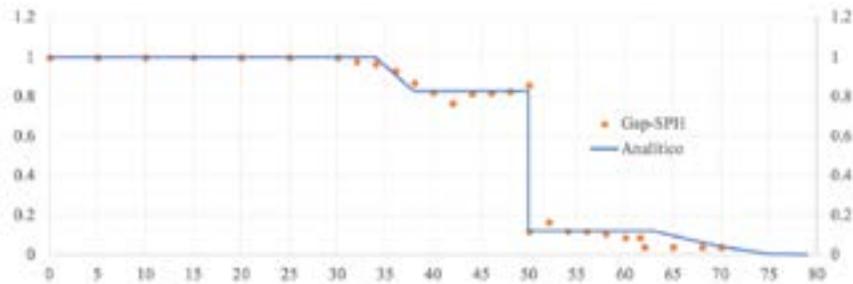


Fig. 1. Solución de presa con compuerta abierta 20% ($t = 5 \text{ s}$).

De cualquier manera, sin importar la resolución, el frente de avance eventualmente estará compuesto por una o dos capas de partículas, como puede verse en el detalle mostrado en la Fig. 2. La exactitud en esa zona está impedida por el hecho de que las partículas tienen limitados sus grados de libertad por efecto del espesor mínimo de apilamiento, que corresponde al tamaño de la partícula, así como el efecto de las ecuaciones de repulsión asociadas a las partículas virtuales fijas que se utilizan para modelar las fronteras sólidas.

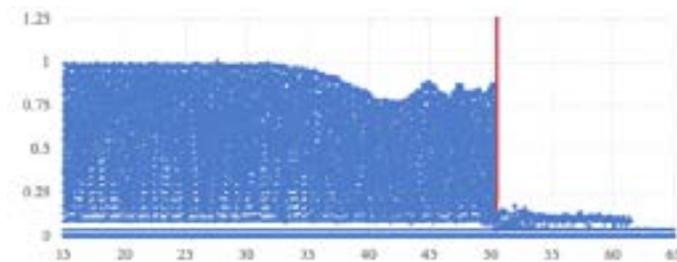


Fig. 2. Detalle de posiciones en descarga de compuerta ($t = 5 \text{ s}$).

Se observa explícitamente el efecto de vena contracta que coincide casi exactamente con la solución analítica como se ve en la posición $x = 50$ m en la Fig. 2 por cuanto la apertura es de 0,2 m, mientras que el chorro de descarga inicialmente es de 0,12 m y luego se expande a unos 0,15 m en promedio antes de reducir su altura de manera similar a una rotura de presa convencional.

CONCLUSIONES

Se aplicó una técnica numérica conocida a un caso de hidráulica de canales para el que son aplicables soluciones analíticas a flujo bidimensional, y se llegó a las siguientes consideraciones:

- Se observó en los resultados del modelo numérico el fenómeno de vena contracta y la aparición de una diferencia de nivel en la zona cercana a la compuerta, lo que se esperaba según el modelo analítico y las observaciones experimentales.
- En la zona cercana a la compuerta, aparecieron artefactos similares a ondas físicas y vórtices como los que se generan en el experimento físico, pero su carácter determinístico implica que su origen es numérico.
- Hubo excelente correlación entre los resultados del modelo numérico, aún en ausencia de algoritmos de estabilización o modelos de turbulencia, por lo que es probable que para casos de alta relación de longitud a profundidad, en futuros estudios no sea necesario valorar su impacto ni considerar su incorporación.
- La poca resolución en número de partículas en el frente de avance genera cierta imprecisión, lo que se agravará en casos en que se requiera modelar arrastre de sedimentos en donde la interacción con esta capa límite es central a su exactitud. La baja resolución también amplifica el efecto de las ecuaciones de frontera dado que su radio de acción es mayor.
- Para mejorar la exactitud del modelo sin requerir incrementos costosos en términos de número de partículas, en futuros estudios podrá considerarse la creación de un nuevo tipo de partícula de interfase que modele la interacción entre la frontera sólida y el fluido.

REFERENCIAS

- [1] L. Cozzolino, L. Cimorelli, C. Covelli, R. Della Morte, y D. Pianese, “The analytic solution of the shallow-water equations with partially open sluice-gates: the dam-break problem”, *Advances in Water Resources*, vol. 80, pp. 90–102, Jun. 2015, doi:10.1016/j.advwatres.2015.03.010.
- [2] A. Defina y F. M. Susin, “Hysteretic behavior of the flow under a vertical sluice gate”, *Physics of Fluids*, vol. 15, no. 9, pp. 2541–2548, Jul. 2003, doi:10.1063/1.1596193.
- [3] G. R. Liu and M. B. Liu. *Smoothed Particle Hydrodynamics: A Meshfree Particle Method*. Upper Saddle River, N.J.: World Scientific, 2003.
- [4] D. Violeau. *Fluid Mechanics and the SPH Method: Theory and Applications*. Oxford: Oxford University Press, Oxford, 2012.

Prototipo de una celda unidad de batería aluminio-aire en flujo

Prototype of an aluminum-air battery unit cell in flow

Dayatri Bolaños Picado
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: dayatri.bolanos@ucr.ac.cr

Cindy Torres Quirós
Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica
e-mail: cindy.torres@ucr.ac.cr

Diego González Flores
CELEQ, Universidad de Costa Rica
e-mail: diegoandres.gonzalez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Cambio climático, sistemas intermodales de transporte, transporte sostenible y batería Al-aire.

I. PROBLEMA

En Costa Rica los vehículos automotores representan la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático, aportando el 56 % de las emisiones contaminantes liberadas al aire (Briceño et al., 2018). Además, el aumento de la flota vehicular ha estado lejos de ser uniforme, el 70 % de la misma se encuentra albergada en tan solo el 3.8 % del territorio nacional, en la Gran Área Metropolitana (Briceño et al., 2018). Dicho fenómeno de concentración, junto a la pobre administración de la infraestructura vial, ha conllevado a colapsar el tránsito. Lo anterior permite concluir que es necesario avanzar hacia sistemas intermodales de transporte, en los que la bicicleta podría jugar un papel fundamental. Para el desarrollo exitoso de dicho sistema es necesaria la sinergia de factores como apoyo e inversión estatal e investigación y desarrollo por parte de las universidades. En la arista de la investigación y el desarrollo de productos por parte de las universidades, el presente proyecto final de graduación pretendió contribuir con una solución tecnológica amigable con el ambiente para impulsar el uso de bicicletas como transporte sostenible. En específico se diseñó el prototipo de una celda unidad para una batería Al-aire, se determinó las condiciones del proceso y, finalmente se evaluó su desempeño mediante el acople de un conjunto de cuatro celdas unidad en una conexión eléctrica en serie y en paralelo. El diseño del prototipo de la celda unidad consistió en un proceso iterativo en el cual se utilizó el software de modelado AutoCAD 2018 y se empleó el modo

de ultra alta definición de la impresora 3D ProJet 3500 HDMax propiedad del Instituto Nacional de Aprendizaje para la impresión de los modelos. El desempeño, en cuanto a recambio de electrolito, de los prototipos elaborados se determinó mediante el software COMSOL Multiphysics 5.5.

II. RESULTADOS

Se obtuvo que el estanato de sodio trihidratado con las condiciones utilizadas más bien acelera el proceso de corrosión de la aleación 5052 en contraste con el óxido de zinc y el metavanadato de amonio los cuales sí presentaron un efecto significativo en la reducción de la pérdida de masa. Para la determinación de la concentración del electrolito se midió el voltaje capaz de suministrar la celda unidad a través de curvas de descarga. Además, se determinó la máxima potencia y la densidad de corriente asociada a ese máximo mediante la medición del voltaje entregado por la celda ante pulsos de corriente ascendente en intervalos regulares de tiempo. Se obtuvo que la potencia máxima entregada por la celda unidad utilizando KOH 4 mol L⁻¹, así como la densidad de corriente en la cual ocurre ese máximo, son significativamente mayores ($t=13.55$, $p=2.66e-3$, $\alpha=0.05$ y $t=207.51$, $p=4.63e-6$, $\alpha=0.05$ respectivamente). Se evaluó los tratamientos que presentaron una reducción significativa en la pérdida de masa de la aleación de aluminio 5052 para determinar la capacidad en la celda unidad. Se utilizó una densidad de corriente de 0.67 mA cm⁻² y de 3.33 mA cm⁻² para la construcción de curvas de descarga.

Se obtuvo que en cuanto a la capacidad todos los tratamientos son significativamente diferentes a la condición base de KOH 4 mol L⁻¹, utilizando una densidad de corriente de 0.67 mA cm⁻² mientras que solo el electrolito compuesto por KOH 4 mol L⁻¹ + NH₄VO₃ 1 mol L⁻¹ fue significativamente diferente cuando se utilizó una densidad de corriente de 3.33 mA cm⁻². Se evaluó el sistema de recirculación en el funcionamiento de la celda a través de curvas de descarga y se obtuvo que el tiempo de funcionamiento de la batería se reduce de manera significativa cuando el electrolito se encuentra estático ($t=3.33$, $p=0.04$, $\alpha=0.05$) en comparación a cuando el electrolito se encuentra en recirculación. Se evaluó el uso del anticorrosivo en la celda unidad, así como el uso de un sistema de ventilación a través de un diseño factorial 2². El análisis estadístico estableció que para maximizar la potencia de la celda el sistema debe funcionar sin ventilación y sin anticorrosivo. Según los resultados obtenidos con la celda unidad si se utiliza KOH 4 mol L⁻¹ + NH₄VO₃ 1 mol L⁻¹ las dimensiones del ánodo requeridas para satisfacer el motor de la bicicleta serían de 7 cm × 51 cm mientras que si se utiliza únicamente KOH 4 mol L⁻¹ las dimensiones se disminuyen a 7 cm × 15 cm con un total de 24 celdas suponiendo una conexión eléctrica en serie. Finalmente, se determinó el desempeño del sistema a través del acople de cuatro celdas unidad en una configuración eléctrica en serie y en paralelo con un sistema de recirculación de electrolito total. Se obtuvo que el suministro de voltaje fue inestable, especialmente para la conexión del sistema en serie.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través del aumento en la velocidad de entrada, así como del volumen disponible para el electrolito entre el primer modelo y el prototipo de la celda unidad se disminuyó el área del ánodo

que no estaba siendo expuesta a un recambio efectivo del electrolito de un 31 % a un 17 %. Por el metavanadato de amonio puede ser utilizado como un inhibidor de corrosión para la aleación de aluminio 5052 utilizando como electrolito KOH 4 mol L⁻¹ en sistemas en las cuales no se requiera una alta potencia. Sin embargo, su uso no resulta adecuado para aplicaciones en las cuales se requieran una alta corriente ya que el efecto de protección sobre la superficie del ánodo va en detrimento de la corriente. Tomando en cuenta que existen dos rutas para disminuir la corrosión, agregar un anticorrosivo al electrolito y modificar la aleación de aluminio, se recomienda explorar la última ruta mencionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Briceño, J., Herrera, J., Solórzano, D., Beita, H., y Rojas, J. (2018). *Informe de calidad del aire Área Metropolitana de Costa Rica 2013-2015*. Technical Report VI, Universidad Nacional, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Municipalidad de San José, Costa Rica.

Implementación de Sistema Automático de Monitoreo para Proyecto de Cosecha de Agua en Monteverde

Implementation of an Automated Water Harvesting Monitoring System in Monteverde

Roberto Darío Brenes Loría

*Estudiante, Escuela de Ingeniería de Biosistemas
e-mail: roberto.brenesloria@ucr.ac.cr*

Ronald Esteban Aguilar Álvarez, Ph.D.

*Profesor, Escuela de Ingeniería de Biosistemas
e-mail: ronalddesteban.aguilar@ucr.ac.cr*

José Francisco Aguilar Pereira, M.Sc.

*Profesor, Escuela de Ingeniería de Biosistemas
e-mail: jose.aguilar@ucr.ac.cr*

Aníbal Torres Leitón

*Coordinador, programa de Futuros Sostenibles del Instituto Monteverde
e-mail: antorres@mvinstitute.org*

María Gabriela Blanco Barrientos

*Estudiante, Escuela de Ingeniería de Biosistemas
e-mail: maria.blancobarrientos@ucr.ac.cr*

David Hernández Alvarado

*Estudiante, Escuela de Ingeniería de Biosistemas
e-mail: david.hernandezalvarado@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Blynk, cosecha de agua, monitoreo automático, sensores de bajo costo, wifi.

I. INTRODUCCIÓN

El manejo y uso consciente del recurso hídrico se torna cada día más importante a nivel agropecuario y residencial debido a los efectos del cambio climático. Por ejemplo, Centroamérica es una región de alta vulnerabilidad donde se han presentado sequías e inundaciones provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos (tormentas tropicales, deslizamientos y aluviones), que tienen profundos efectos en la gestión de recurso hídrico [1]. La Organización de las Naciones

Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) plantea como parte del objetivo de desarrollo sostenible un indicador de estrés hídrico. El indicador establece la proporción de extracción de agua dulce con respecto a los recursos disponibles de agua dulce. De los 175 países que estiman el indicador desde el año 2000, solamente dos tercios reportan un índice menor al 25% (lo que se considera como el umbral de inicio del estrés hídrico) [2]. Aumentar la eficiencia del uso del agua requiere un esfuerzo por buscar medidas y soluciones para aprovechar el agua dulce disponible, estas resultan en una demanda reducida del sistema convencional de agua, mayor acceso a fuentes de agua en zonas aisladas, bajar riesgos de escasez de agua por problemas en el suministro o sequías y demás beneficios expuestos en [3]. En países como Japón, Alemania, Reino Unido y Singapur se han estudiado e implementado sistemas para el aprovechamiento del agua de lluvia [3]. En Costa Rica se han impulsado sistemas de aprovechamiento de agua mediante el Centro Mesoamericano De Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMEDE) en sectores agropecuarios y de forma artesanal en hogares de la región Chorotega [4]- [5]. Regiones como la Pacífico Central presentan de 3 a 5 meses secos [6], por lo que proyectos de cosecha de agua son de gran utilidad en el esfuerzo por la conservación del recurso hídrico.

La medición de flujo de agua y la cantidad utilizada en diferentes aplicaciones se ha instrumentado para el análisis del consumo y manejo eficiente de las redes de distribución [7]. También se ha planteado la instrumentación para el cálculo de cobros por consumo de agua, manejo de demanda de agua y reducción de desperdicio en regiones de escasos recursos y alta demanda agrícola [8]- [9]- [10]. Además, se han instrumentado sistemas de cosecha de agua para cuantificar el flujo de entrada y salida de tanques de captación [11]. La metodología de mediciones y manejo de datos se puede realizar de manera manual como se ve en [11], de manera automática utilizando microcontroladores de bajo costo como el *ATMEL 89C51* [12], el *ATMEL AT89S52* [13] u otros microcontroladores como en los que se basan algunas tarjetas de desarrollo de *Arduino* [8], sensores de flujo conectados por wifi, herramientas de software como *LabVIEW* [10] e interfaces gráficas de usuario (IGU) en controles de lazo cerrado [12].

I. METODOLOGÍA

El presente proyecto propone la implementación de un sistema de monitoreo automático para cosecha de agua (SMCA) ubicado en el Instituto Monteverde (IMV), Costa Rica. La implementación responde al proyecto de Acción Social ED-3498 dirigido por la Escuela de Ingeniería de Biosistemas titulado *Biosistemas unitarios para la protección del recurso hídrico en Monteverde, Costa Rica*. La finalidad del SMCA es impulsar los sistemas de cosecha de agua en la zona de Monteverde mediante la demostración del sistema y sus beneficios cuantificables en el uso hídrico. En este caso el sistema de cosecha de agua del IMV captará el agua de lluvia para utilizarla en los inodoros, huerta y lavadoras, disminuyendo con esto el consumo de agua potable en el instituto. El agua excedente se llevará a un sistema de siembra de agua. El presente proyecto tiene por objetivo implementar un sistema automático de monitoreo para cuantificar la cantidad de agua de lluvia que se cosecha, utiliza y siembra en el Instituto Monteverde. El SMCA

se compone de sensores de bajo costo: caudalímetros *YFS-201*, *Digiten G2*, sensores ultrasónicos *AJ-SR04M* y sensores capacitivos para el nivel de agua, un sistema de comunicación de datos basado en el microcontrolador *Tensilica Xtensa 32-bit LX6* (ESP32) y la plataforma de desarrollo *Blynk* para crear una aplicación de *Android* (NuuAPP).

Como se muestra en la Fig. 1 el SMCA registra los datos de los sensores (1, 2, 4, 5, 6, 7 de la Fig. 2) utilizando el ESP32. El ESP32 procesa los valores, los muestra en la NuuAPP y almacena en un servidor para luego generar informes de archivos de valores separados por coma (CSV). Estos datos servirán para evidenciar los beneficios de los sistemas de cosecha con lo cual se puede educar y transferir la tecnología a la población de Monteverde.

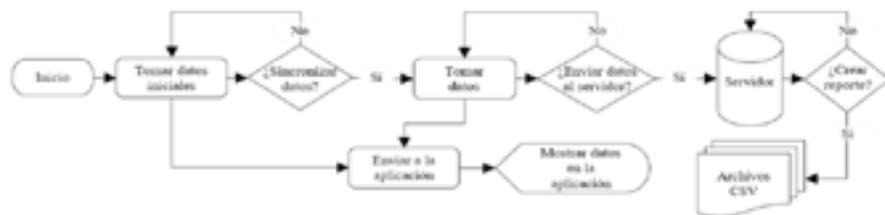


Fig. 1. Diagrama general de procesos del SMCA. Elaboración propia.

Se utilizan caudalímetros de tipo turbina de 2 pulgadas (CT) para medir el flujo en la tubería de entrada, la tubería de salida por desagüe (2 y 6 de la Fig. 2) y de ½ pulgada en las tuberías de salidas dedicadas (7 de la Fig. 2). Los CT generan una señal cuadrada de frecuencia que varía según la velocidad de flujo en la tubería, y está dada por:

$$f=nQ \quad (1)$$

Donde n es un factor de proporcionalidad (varía según el diámetro del caudalímetro) y Q es la velocidad de flujo del líquido en L/min.

Para los CT se propone el uso en conjunto de un sensor de nivel de agua en el tubo (1 y 5 de la Fig. 2) con la finalidad de corregir las mediciones cuando hay poco caudal. Se puede optar por un sensor de nivel de agua de tipo capacitivo (SNC), el cual responde linealmente al nivel de agua por el cambio en la permitividad eléctrica [14]- [15]- [16]. Con este sensor se puede estimar el área de la sección transversal en el tubo. La corrección es necesaria ya que el caudal Q en la ecuación (1) viene de la ecuación de continuidad para fluidos, descrita en [17]. Esta relación de nivel y altura es en su mayor parte lineal, pero no es sencilla de calcular como se explica en [18], se puede utilizar para expresar la frecuencia de la señal considerando cambios en el área como se muestra en la ecuación (2), donde α es un factor de corrección obtenido del SNC.

$$f=\alpha nQ \quad (2)$$

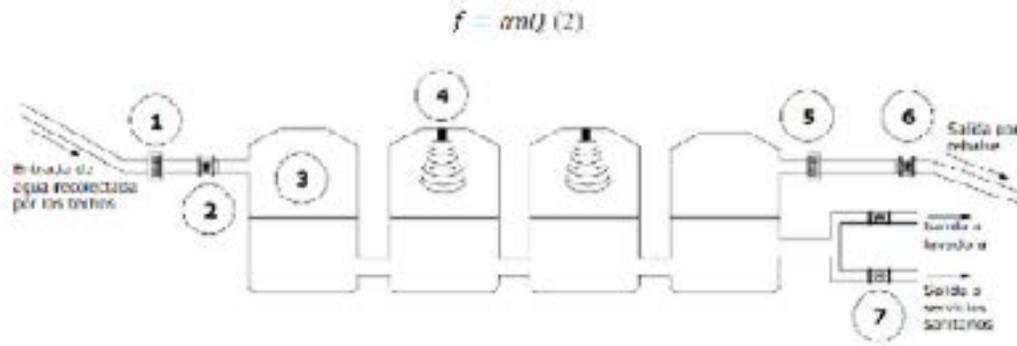


Fig. 2 Diagrama de ubicación de sensores en el SMCA. Elaboración propia.

La medición de nivel de agua en los tanques se va a realizar con un sensor ultrasónico, marcado como 4 en la Fig. 2. Este tipo de sensor permite una medición de nivel no invasiva, con un rango amplio de medición y respuesta rápida como se ve en [19]- [20]. El sensor envía una señal ultrasónica y mide el tiempo que tomó para recibir de nuevo esa señal, esta información se transmite vía comunicación serial al ESP32 y se procesa para obtener un valor de distancia con el que se calcula el nivel de agua y volumen del tanque.

El SMCA medirá adecuadamente los flujos de entrada y salida del agua de lluvia y el nivel de agua en los tanques. El SMCA reportará los datos al NuuAPP para desplegarlos gráficamente en una IGU diseñada específicamente para el IMV, de manera que se tenga un monitoreo en tiempo real del sistema y que a su vez se puedan generar reportes periódicos en archivos de formato CSV con los datos almacenados en el servidor, preferiblemente local. La implementación del SMCA le permite al IMV analizar el desempeño del proyecto de cosecha de agua, por ejemplo, con la estimación de un factor de eficiencia de recolección, monitorear de una manera rápida y autónoma el comportamiento del sistema de recolección, cuantificar el ingreso y uso del agua recolectada. Con estos datos el IMV y el proyecto Biosistemas unitarios para la protección del recurso hídrico en Monteverde, Costa Rica de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas podrán generar documentación comprensiva y robusta que les permita demostrar a la comunidad los beneficios de sistemas de cosecha de agua y avanzar en los esfuerzos que realizan por la conservación del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Martínez Guzmán, «Tecnologías para el Uso Sostenible del Agua: Una contribución a la Seguridad Alimentaria y la Adaptación al Cambio Climático,» Global Water Partnership, Central America, Tegucigalpa, 2013.
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Seguimiento del progreso en los indicadores de los ODS relacionados con la alimentación y la agricultura,» 2019.
- [3] S. Sendanayake, *Rainwater Harvesting for Urban Living*, Sri Lanka: South Asian Institute of Technology and Medicine, 2016.
- [4] R. Rodríguez Quirós, D. Morales Hidalgo y L. Obando Villegas, «Propuesta de estrategia nacional

- de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego,» CEMEDE, Nicoya, 2010.
- [5] R. Medina Carrillo, W. Peña Cordero y M. F. Obando Briceño, «Sistemas de Captación de Agua Lluvia para la Producción Agropecuaria Sostenible,» *Revista Nacional de Administración*, vol. 3, n° 1, pp. 07-120, 2012.
- [6] D. Morales Hidalgo y R. Rodríguez Quirós, «Caracterización Biofísica de las Zonas Definidas para la Implementación de las Opciones de Cosecha de Agua,» CEMEDE, Nicoya, 2010.
- [7] E. Clifford, S. Mulligan, J. Comer y L. Hannon, «Flow-Signature Analysis of Water Consumption in Nonresidential Building Water Networks Using High-Resolution and Medium-Resolution Smart Meter Data: Two Case Studies,» *Water Resources*, vol. 54, pp. 88-106, 10 Enero 2018.
- [8] S. Sajith y N. V., «Automated Water Usage Monitoring System,» de *International Conference on Communication and Signal Processing*, Raigad, 2016.
- [9] M. Obby y E. Louwrence, «Smart metering implementation for enabling Water Conservation and Water Demand Management,» de *AFRICON 2013: IEEE African Conference : Sustainable engineering for a better future*, Mauritius, 2013.
- [10] M. Meht, A. Chaugule, R. Misra y J. Gupta, «Automated Water Metering System,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 10, n° 2, pp. 49-52, 2019.
- [11] K. H, B. N H y Z. M, «Monitoring on The Quality and Quantity of DIY Rainwater Harvesting System,» de *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Langkawi, 2016.
- [12] P. Eswaran y K. Aswin, «Design and Development of Automated Water Distribution and Metering System for Residential Buildings,» de *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, Coimbatore, 2012.
- [13] R. Sood, M. Kaur y H. Lenka, «Design and Development of Automatic Water Flow Meter,» *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, vol. 3, n° 3, pp. 49-59, 2013.
- [14] D. Wang, «Capacitive-Based Liquid Level Sensing Sensor Reference Design,» Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/ug/tidu736a/tidu736a.pdf>. [Último acceso: 08 Abril 2020].
- [15] C. K, T. T, P. P y J. N, «A self-calibration water level measurement using an interdigital capacitive sensor,» *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 209, pp. 175-182, 2014.
- [16] R. S. Beerasha, M. K. A y H. V. Manjunath Reddy, «Design and Optimization of Interdigital Capacitor,»: *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 05, n° 21, pp. 73-78, 2016.
- [17] R. A. Serway y J. W. Jewett, *Física para Ciencias e Ingeniería*, Décima ed., vol. I, México, 2018, pp. 369-370.
- [18] R. Gordon, «Squaring a Circular Segment,» *The College Mathematics Journal*, vol. 39, n° 3, pp. 212-220, 2008.
- [19] M. Saraswati, E. Kuantama y P. Mardjoko, «Design and Construction of Water Level Measurement System Accessible through SMS,» de *2012 Sixth UKSim/AMSS European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, Valetta, 2012.
- [20] A. A, H. N, C. A y B. N, «Investigation of ultrasonic sensor type JSN-SRT04 performance as flood elevation detection,» de Kota Tasikmalaya, 2018.

Tema VII
Pedagogía y formación:
herramientas, crítica, virtualidad

Aplicación de rúbricas para medir los indicadores de atributos de egreso

Application of rubrics to measure the indicators of graduation attributes

Raziel Farid Sanabria Sandí
Profesor, Escuela de Ingeniería Mecánica
e-mail: raziel.sanabria@ucr.ac.cr

Palabras clave:

ATRIBUTOS DE EGRESO, evaluación, indicadores, Ingeniería Mecánica, rúbricas.

I. PROBLEMA

Una actividad de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica para mantener su acreditación ante el *Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos* (CFIA) ha sido la aplicación de rúbricas. Desde el 2017, esto se realiza con los cursos impartidos en el programa de estudio con el fin de evaluar el cumplimiento de metas en el perfil de salida del profesional.

Las metas fueron definidas a partir de un mapeo del programa de estudio dando como resultado 12 atributos de egreso. A cada atributo se le asignaron 2 indicadores y a cada indicador se le asignaron tres niveles de evaluación: *Introdutorio*, *Desarrollo* y *Avanzado*. Por lo tanto, se generaron un total de $12 \times 2 \times 3 = 72$ indicadores que deben ser evaluados en forma periódica con el fin de confirmar el cumplimiento de las metas establecidas.

El mecanismo propuesto para medir el cumplimiento de estas metas fue la aplicación de rúbricas [1]. Cada uno de los 72 indicadores tiene asignado una rúbrica y cada rúbrica está dividida en una cierta cantidad de criterios que son establecidos y evaluados por el profesor del curso. Las rúbricas se aplican sobre una actividad académica específica en cada curso según un cronograma y considerando únicamente a estudiantes de Ingeniería Mecánica.

En este documento se explica la forma en que se resolvió el problema asociado con establecer una escala numérica y su respectivo procesamiento numérico para evaluar el cumplimiento de las metas para cada atributo de egreso a partir de las rúbricas aplicadas.

Considerando que es necesario establecer una calificación a cada uno de los indicadores asociados aun atributo de egreso con el fin de evaluar si una meta se cumplió, la pregunta que se estableció para la presente investigación es:

¿Cómo se puede definir un valor numérico que me permita medir objetivamente el cumplimiento de cada uno de los atributos de egreso del programa del Bachillerato y Licenciatura en Ingeniería Mecánica?

II. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A. Rúbricas desarrolladas

Con el fin de explicar la solución dada al problema se tomará como ejemplo uno de los 12 atributos denominado: “Investigación” (INE) del cual se derivan dos indicadores en 3 niveles para un total de los 6 indicadores según se muestra en la TABLA I. A cada indicador se le asignó un código que termina con la letra I, D ó A según sea el nivel Introductorio, Desarrollo o Avanzado.

Tabla I. Detalle de los indicadores correspondientes a cada uno de los 12 atributos de egreso en sus tres niveles.

	Atributo	Indicador	Código indicador
1	Investigación	Plantea problemas pertinentes de la profesión para el desarrollo de investigaciones.	INE01I
2			INE01D
3			INE01A
4		Utiliza datos que son pertinentes para el desarrollo de investigaciones.	INE02I
5			INE02D
6			INE02A

Para evaluar estos seis indicadores se aplicaron rúbricas en los cursos mostrados como se puede observar en la TABLA II. En la columna de nota se presenta el resultado ponderado de cada rúbrica basado en el número de estudiantes. Esta nota corresponde a una ponderación basada en una escala donde se considera 10 como que el indicador supera las expectativas, 8 como que cumple con las expectativas, 6 si presenta un desarrollo marginal y 3 cuando el resultado del indicador está por debajo de las expectativas. Al final se presenta el ponderado final calculado como:

$$\frac{27 \cdot 8,05 + 22 \cdot 7,79 + 23 \cdot 9,07 + 24 \cdot 7,53 + 28 \cdot 8,32 + 22 \cdot 9,12}{27 + 22 + 23 + 24 + 28 + 22} = 8,30$$

Para hallar la nota de cada rúbrica se tomará como ejemplo el curso IM-0418 Proyecto Mecánico II, en el cual la actividad evaluativa fue la presentación del Proyecto Final de Gradución. Para evaluar la rúbrica se conformaron 10 grupos de 1, 2 ó 3 estudiantes establecidos por el profesor del curso. Se definieron tres criterios para la rúbrica los cuales se muestran en la tabla III y a cada uno de los trabajos se le aplicó la rúbrica.

Tabla II. Detalle de los resultados de la nota de cada rúbrica por curso.

Código Indicador	Ciclo	Sigla del curso	Número de estudiantes	Nota	Poderado
INE01I	I-2019	IM-0313	27	8,05	
INE01D	I-2018	IM-0305	22	7,79	
INE01A	I-2018	IM-0418	23	9,07	
INE02I	I-2018	IM-0100	24	7,53	8,30
INE02D	I-2018	IM-0303	28	8,32	
INE02A	I-2019	IM-0418	22	9,12	

Tabla III. Detalle del resultado de la aplicación de la rúbrica al curso IM-0418.

Criterios	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10
Análisis de información	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Viabilidad del proyecto	8	8	8	8	10	8	8	8	8	8
Calidad de los resultados	8	10	8	8	10	8	10	10	10	8
Promedio	8,67	9,33	8,67	8,67	10,00	8,67	9,33	9,33	9,33	8,67
Número de estudiantes	2	2	3	3	3	2	2	3	1	2

Luego se poderará el resultado para obtener el siguiente resultado que coincide con el obtenido en la TABLA II para el curso IM-0418:

$$\frac{2 \cdot 8,67 + 2 \cdot 9,33 + 3 \cdot 8,67 + 3 \cdot 8,67 + 3 \cdot 10 + 2 \cdot 8,67 + 2 \cdot 9,33 + 3 \cdot 9,33 + 1 \cdot 9,33 + 2 \cdot 8,67}{2 + 2 + 3 + 3 + 3 + 2 + 2 + 3 + 1 + 2} = 9,07$$

CONCLUSIONES

Como conclusión se puede observar que fue posible desarrollar una metodología para medir en una escala conveniente el cumplimiento de los atributos de egreso. Esto permitirá evaluar los resultados obtenidos contra valores meta y así para poder tomar acciones que permitan mejorar el programa de estudio de la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Ingeniería Mecánica.

Es importante señalar que para obtener un resultado confiable se requiere promediar al menos tres resultados de rúbricas en tres mapeos consecutivos en cada indicador. Esto es un trabajo que se estará realizando durante los próximos ciclos.

REFERENCIAS.

- [1] Hernández, G. A. R. C. Í. A., & Fernando, L. *Diseño y validez de una rúbrica para evaluar las prácticas curriculares en instituciones de educación superior.*

Experiencias de aprendizaje basado en proyectos en cursos de Computación: aciertos y retos

Experiences with project-based learning in Computer Science courses: successes and challenges

Alexandra Martínez Porras

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, Universidad de Costa Rica
e-mail: alexandra.martinez@ucr.ac.cr*

Adrián Lara Petitdemange

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, Universidad de Costa Rica
e-mail: adrian.lara@ucr.ac.cr*

Christian Quesada López

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, Universidad de Costa Rica
e-mail: cristian.quesadalopez@ucr.ac.cr*

Luis Quesada Quirós

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, Universidad de Costa Rica
e-mail: luis.quesada@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Aprendizaje basado en proyectos, computación, cursos, experiencias, retos.

I. INTRODUCCIÓN

El plan de estudios vigente de la carrera de Bachillerato en Computación, que inició su implementación en el año 2017, incorpora tres énfasis y plantea un modelo de diseño curricular con “proyectos integradores” como elemento innovador [1]. Este plan contempla tres conjuntos de proyectos integradores, cuyo enfoque pedagógico es el aprendizaje basado en proyectos (ABP). El ABP organiza el proceso de formación alrededor de un problema real que exige para su resolución investigación, integración y aplicación de conocimientos, habilidades y actitudes [2,3]. Estudios previos [4,5,2,6] demuestran que el ABP motiva más a los estudiantes, les permite aplicar los conocimientos teóricos, y potencia el desarrollo de habilidades blandas.

A continuación presentamos la experiencia de implementar ABP en dos proyectos integradores de la carrera, señalando los principales aciertos y retos encontrados. Experiencias previas en el uso de ABP en otros cursos de la carrera han sido reportados en [2] y [6].

A. Sistemas Operativos y Redes de Comunicación

El Proyecto Integrador de Redes de Comunicación y Sistemas Operativos es un curso obligatorio de 4 créditos, con 5 horas lectivas semanales, y cuyo objetivo general es que cada estudiante consolide e integre los conocimientos aprendidos en los cursos de Sistemas Operativos y Redes de Comunicación, para que sea capaz de diseñar e implementar soluciones que consideren los retos, necesidades, buenas prácticas y requerimientos de ambas áreas.

El principal aspecto positivo es que la integración de contenidos de dos cursos permite que los estudiantes desarrollen proyectos más complejos e interesantes. Muestra de ello fue que en el primer semestre de 2019 invitamos a la empresa HPE a participar en el curso, y al finalizar el semestre, los funcionarios de la empresa indicaron que los problemas que habían enfrentado (y resuelto) los estudiantes en el curso, eran similares al día a día de los proyectos de su empresa. Lograr un proyecto de tal envergadura habría sido difícil bajo el modelo tradicional de cursos separados.

El segundo aspecto positivo es que los profesores llegan a conocer mejor a sus estudiantes, dado que hay un total de 11 horas lectivas semanales. Por ejemplo, en nuestro bloque tuvimos la oportunidad de verlos trabajar libremente por espacios de una o dos horas. Rápidamente, notamos que los estudiantes tenían dificultades para ser productivos: las asignaciones de tareas y el orden de prioridades, por ejemplo, no eran ideales. Los profesores concluimos que era necesario introducir habilidades de gestión de proyectos.

Las dos principales dificultades encontradas fueron el balance entre el cumplimiento de contenidos y la metodología ABP, y la evaluación de contenidos. En ABP se espera que el docente guíe al estudiante según las necesidades que surjan de su proyecto. Si bien esta dinámica es sumamente enriquecedora para el estudiante, encontramos prácticamente imposible cubrir todos los contenidos del curso por esta vía. Siempre fue necesario recurrir a lecciones en las que el contenido explicado no era motivado por una necesidad del estudiante provocada por el proyecto. Segundo, no hemos resuelto plenamente el reto de evaluar cuando se usa ABP. Se pueden hacer evaluaciones de los contenidos que se impartieron tradicionalmente. Sin embargo, nos parece retador evaluar aspectos como pensamiento crítico, contrastar dos soluciones con ventajas y desventajas, administrar mejor el proyecto y otros temas relacionados con el ABP.

B. Proyecto Integrador de Ingeniería de Software y Bases de Datos

El Proyecto Integrador de Ingeniería de Software y Bases de Datos es un curso obligatorio de 3 créditos, con 3 horas de clase a la semana, y cuyo objetivo general es que los estudiantes consoliden e integren los conocimientos y habilidades aprendidos en los cursos de Bases de Datos e Ingeniería de Software, mediante su aplicación en el contexto de un proyecto de software, con el fin de que construyan una aplicación web con su base de datos, siguiendo procesos adecuados de planificación, análisis, diseño, implementación y pruebas. El proyecto del curso se desarrolla incrementalmente en varias iteraciones, utilizando la metodología ágil Scrum [7].

Un gran acierto es que todos los estudiantes trabajen en un solo proyecto, formando equipos colaborativos, responsables de distintos módulos interrelacionados que deben integrarse en un repositorio de código común. Esta estrategia fomenta el desarrollo de habilidades blandas y actitudinales tales como la comunicación asertiva, el respeto, la colaboración, la autorganización, y la responsabilidad. Esto también supone un riesgo para el buen desarrollo del curso, pues hace más compleja la dinámica intra-equipos y entre-equipos, especialmente cuando el nivel de compromiso de los equipos y sus miembros no es uniforme. Para mitigar esta amenaza, los docentes deben ayudar a los equipos a crear reglas de convivencia, y estar atentos a la dinámica de los equipos para intervenir tempranamente en caso de conflicto.

Otro de los éxitos ha sido el uso de la metodología Scrum, ya que se alinea de forma natural con ABP. Sus ceremonias (sesiones de refinamiento de requerimientos, sesiones de planificación, sesiones de revisión y demostración del producto, y sesiones de retrospectiva) apoyan el aprendizaje activo y permanente, la crítica y revisión constante, la reflexión constante y la gestión del proyecto.

Uno de los mayores retos al aplicar ABP es la evaluación de los aprendizajes, ya que los docentes necesitamos valorar los conocimientos adquiridos y las habilidades desarrolladas por los estudiantes, de manera que sea consistente con el enfoque colaborativo de ABP pero permitiendo a la vez identificar el avance individual de cada estudiante. Adicionalmente, se necesita un balance entre evaluaciones formativas y sumativas, así como entre autoevaluaciones, coevaluaciones, y evaluaciones del docente hacia los estudiantes. Entre los mecanismos que hemos utilizado para abordar este reto están: (i) el uso de rúbricas de auto- y co- evaluación que los estudiantes entregan en cada iteración, (ii) la realización de sesiones de revisión técnica del producto en cada iteración, y (iii) las métricas extraídas del repositorio de código (GitHub), que permitan identificar las contribuciones de cada estudiante al proyecto, de cada equipo al proyecto, y de cada estudiante a su equipo [8].

REFERENCIAS

- [1] Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, Universidad de Costa Rica (2016). Nuevo Plan de Estudios de la Carrera de Bachillerato en Computación.
- [2] C. Quesada-López y A. Martínez, “Implementation of Project Based Learning: Lessons Learned”. 2019 *XLV Latin American Computing Conference (CLEI)*, Panama, 2019, pp. 1-10, doi: 10.1109/CLEI47609.2019.235066.
- [3] T. Markham, *Project based learning handbook: A guide to standards-focused project based learning for middle and high school teachers*. California, USA: Buck Institute for Education, 2003.
- [4] J. Foertsch, G. Moses, J. Strikwerda, y M. Litzkow, Enhancing undergraduate students’ chemistry understanding through project-based learning in an IT environment, *Science Education*, 89(1), 117-139, 2004.
- [5] S. Palmer y H. Wayne, An evaluation of a project-based learning initiative in engineering education, *European Journal of Engineering Education*, 36.4: 357-365, 2011.
- [6] A. Lara y L. Quesada, “A Project-based Learning Experience in a Compilers Course.” *Proceedings of the ACM Conference on Global Computing Education*, 2019, pp. 136-142, doi: 10.1145/3300115.3309502.

- [7] K. Schwaber y M. Beedle (2002). *Agile software development with Scrum* (Vol. 1). Prentice Hall Upper Saddle River.
- [8] S. Hamer, C. Quesada-López, A. Martínez y M. Jenkins, “Measuring students’ contributions in software development projects using Git metrics.” *2020 XLVI Latin American Computing Conference (CLEI)*, Ecuador, 2020, pp. 1-10.

Factores determinantes en la escogencia de la carrera de Ingeniería Química en la Universidad de Costa Rica

Determining factors on the choosing of the Chemical Engineering career at the University of Costa Rica

Evelyn Salas Valerio
Docente, Escuela de Ingeniería Industrial
e-mail: evelynmaria.salas@ucr.ac.cr

Mercedes Chacón Vásquez
Docente, Escuela de Ingeniería Eléctrica
e-mail: mercedes.chaconvasquez@ucr.ac.cr

Carolina Vásquez Soto
Docente, Escuela de Ingeniería Industrial
e-mail: carolina.vasquez@ucr.ac.cr

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación nace desde el proyecto Mujer en la Ingeniería que pertenece a la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Costa Rica (UCR) desde hace poco más de 10 años. A lo largo de estos años, el equipo de profesoras del proyecto ha venido trabajando con dos públicos objetivo:

- Las estudiantes universitarias de la Facultad de Ingeniería (FI) de la UCR
- Estudiantes mujeres de colegios, principalmente colegios públicos y técnicos.

Las acciones del proyecto han aportado en la eliminación de estereotipos de género, disminución de brechas de género en las áreas de ingenierías de la FI y STEM, además de propiciar la escogencia de carrera en estudiantes de colegio, de manera informada y sustentada en conocimientos sobre los perfiles de las carreras de ingeniería que ofrece la FI. De manera directa se puede hablar de un impacto de unas 2000 mil estudiantes, pero esto tiene un factor multiplicador de impacto indirecto entre sus familiares y amigos cercanos.

Es mediante este acercamiento que el proyecto constató que continúan existiendo diferencias importantes entre la participación de hombres y mujeres en las carreras de la FI. Previamente en [1] se mostró que los porcentajes hallados de la cantidad de hombres y mujeres que ingresaron a las carreras de ingeniería Civil, Eléctrica, Industrial, Mecánica y Topográfica de la UCR, durante el periodo 2010-2015, fueron un 74% de participación de hombres y tan solo un 26% mujeres. Más aún según [2] del total de estudiantes, se tiene que la FI es la que presenta un menor porcentaje

de mujeres, con apenas un 28%. Dicho balance reporta las diez escuelas con menos participación femenina de las cuales, seis corresponden a Escuelas de la FI. Cabe destacar que, en la matrícula del 2011 de la Escuela de Ingeniería Química, la participación femenina fue de 45.5%, siendo este dato similar al obtenido en el 2006 de 43,4% y mayor al del año 2000 de 35,3%.

II. PROBLEMA

El lento crecimiento en la matrícula de mujeres en las carreras de ingeniería ha motivado desde Mujer en la Ingeniería a preguntarse ¿por qué pasa esto?, sin embargo, una de las carreras que típicamente tiene paridad de género en sus estudiantes es Ingeniería Química (IQ), despertando el interés en identificar factores o aspectos que propician la escogencia de esta carrera respecto a las otras, para utilizar esta información en reflejarlas en las otras carreras de ingeniería y estimular más matrícula de mujeres.

III. RESULTADOS

En una primera fase de metodología cualitativa, se aplicó una entrevista a siete estudiantes de la carrera de Ingeniería Química. La entrevista se estructuró en cuatro secciones. En la primera sección se identifica cómo las estudiantes decidieron estudiar IQ. La segunda sección busca los motivos por los que las estudiantes optaron por IQ. En la tercera sección se identifican las actividades y características que llamaron la atención de la carrera. La cuarta sección explora las perspectivas que tenían las estudiantes en su futuro como profesionales de IQ.

De los resultados más importantes se desprende el gráfico de la figura 1. Ahí se observan los factores más relevantes que las estudiantes apuntaron en la escogencia de carrera. Varias estudiantes apuntaron que les gustaba investigar y la carrera les permitía realizarse tanto en una línea profesional como investigativa.

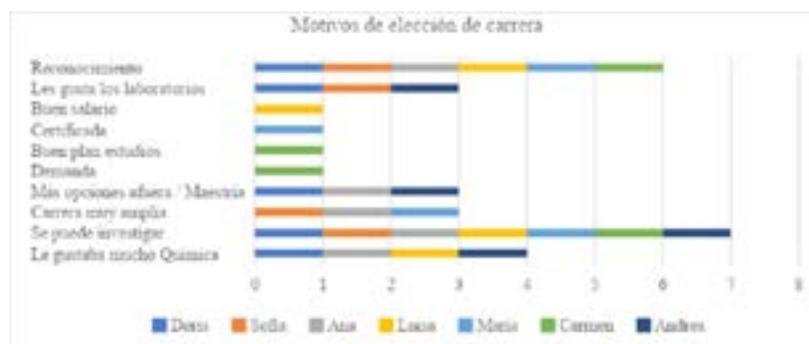


Fig.1. Motivos de elección de carrera de la fase cualitativa.

En la segunda fase, se elaboró un instrumento cuantitativo. Para ello, se recopilaban los resultados de la encuesta cualitativa aplicada en el primer ciclo del 2019 y se solicitó asesoramiento de la Escuela

de Estadística para elaborar la encuesta cuantitativa. Esta constaba de 47 preguntas, direccionadas a factores socioculturales, educativos, familiares y laborales que pudieran incidir en la elección de la carrera. También se definió que el marco muestral sería de estudiantes activas de la carrera de IQ de todos los niveles. Como parte de los resultados se observa la respuesta en la figura 2, a la pregunta: ¿Consideró que la carrera de IQ ofrecería mejor panorama para desarrollarse como científica profesional respecto a otras carreras?

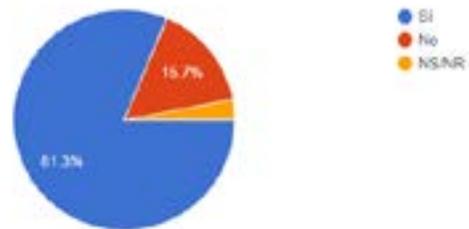


Fig. 2. Gráfico de respuestas para pregunta sobre desarrollo como científica.

Según la gráfica existe un factor decisivo entre las estudiantes para buscar una carrera que le permita más allá del desarrollo profesional.

CONCLUSIONES

Para fortalecer la línea de investigación se debe analizar, desde una perspectiva de género, los factores que favorecen y que inhiben el ingreso y la permanencia de estudiantes mujeres en todas las carreras de la FI. El proyecto 724-B9-331 Factores que impulsan e inhiben el ingreso y la permanencia de mujeres en carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, pretende realizar este estudio en tres fases, una primera fase de metodología cualitativa, una segunda fase cuantitativa, ambas dirigidas a población estudiantil y una tercera fase con metodología cualitativa, dirigida a docentes.

REFERENCIAS

- [1] Camacho, Leidy (2018). *La formación de profesionales en el área de ingeniería: Una visión integral*. Oficina de Planificación de la Educación Superior, Consejo Nacional de Rectores. ISBN 978-9977-77-255-4, San José Costa Rica.
- [2] Carcedo, Ana y Amador, Diana (2012). *Tercer balance del estado de la igualdad de género en la Universidad de Costa Rica*, Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
- [3] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (2017). *Índice de desarrollo social*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. ISBN 978-9977-73-128-5, San José Costa Rica.

Tema VIII
Ordenamiento territorial,
gobernanza territorial, paisaje

Conservación de Suelos y ordenamiento territorial en las faldas del volcán Irazú

Soil Conservation and Land use Planning on the Irazu volcano's surroundings

Félix Zumbado Morales

*Investigador. Programa de Investigación en desarrollo Urbano
Sostenible (ProDUS) Universidad de Costa Rica (UCR)*

e-mail: felix.zumbado@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Conservación de suelos, gestión ambiental, erosión, escorrentía, volcán Irazú.

I. INTRODUCCIÓN

La conservación y gestión de suelos es un elemento clave del ordenamiento territorial. Dependiendo del esquema legal que cada nación tenga, así serán las posibilidades legales en intervenciones al territorio que puedan realizarse para asegurarse un adecuado manejo del recurso suelo.

En el año 2015, ProDUS elaboró el proyecto “Plan de Uso del Suelo de las faldas del volcán Irazú contratado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, SINAC. El objetivo general del proyecto fue elaborar un Plan de Uso del Suelo para las zonas aledañas al volcán Irazú, en el cantón de Oreamuno, de la provincia de Cartago; y a su vez, definir las medidas y acciones de implementación a desarrollar, para la conservación del paisaje de la zona, y evitar la erosión del suelo. Lo anterior como una respuesta a la necesidad de una mejor gestión de los suelos agropecuarios de la cuenca alta; el manejo inadecuado del suelo ha generado problemas en la cuenca baja debido a que el arrastre de sedimentos y una mayor escorrentía asociada con cambios de uso del suelo de pastos a cultivos como papa y cebolla. Lo anterior ocasiona problemas de inundaciones en comunidades como la Urb. Sanabria, Urb. Las Delicias, Paso Ancho cerca del río Páez y de la carretera 402, Cipreses, Chayotillo y Oratorio del cantón de Oreamuno.

II. METODOLOGÍA

El proyecto se realizó en las siguientes fases:

1. Sistematización de los antecedentes e investigaciones realizadas en la zona.

2. Diagnóstico biofísico y socioeconómico.
3. Documento Plan de Uso del Suelo.
4. Estudio de caso de una finca de 3,3 ha, sembrada de papa y cebolla., ubicada en el poblado de Potrero Cerrado de Oreamuno, en la parte alta de la cuenca y con evidentes problemas de erosión de suelos. En el sitio se realizó el análisis mediante el modelo RUSLE para determinar la erosión y para establecer la factibilidad de ejecutar las propuestas de conservación de suelos que se generaron en el Plan de Uso del Suelo.

III. RESULTADOS

Se determinó que debido a la pendiente, gran parte de las fincas en el cantón de Oreamuno requieren medidas urgentes de conservación de suelo.

El personal del MAG y productores entrevistados consideran que se necesita mayor recurso humano y fondos para desarrollar proyectos de gestión integral del suelo en la zona. Se estableció que la parte de capacitación técnica o extensión rural en la zona es realizada por los representantes de ventas de las empresas comercializadoras de maquinaria y agroquímicos.

La ley de Conservación de suelos #7779 y su reglamento, son la legislación con mayor injerencia en el tema, lamentablemente no se está aplicando la normativa.

La falta de legislación actualizada sobre el tema es un reto para el país, ya que genera vacíos y conflictos administrativos que afectan negativamente el territorio y su desarrollo sostenible.

El estudio de caso mostró los siguientes resultados:

Los productores que realicen prácticas de conservación de suelos en las fincas tendrán una reducción del área productiva, producción e ingresos. La reducción será equivalente a las condiciones específicas del terreno de cada finca. En el caso de estudio, el modelo RUSLE mostró que la finca posee erosión muy severa, con promedio de 98 ton /ha- año. El área que ocuparían las obras de conservación de suelos reduciría en un 5 % el área productiva. Como alternativa para compensar económicamente esa reducción de ingresos debido a la conservación de suelos, se propuso utilizar el uso del certificado de conservación de suelos que otorga el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG) a través del Instituto de Transferencia agropecuaria. Según la Ley de Conservación y Uso del Suelo N° 7779, artículo 49, los propietarios de terrenos con un certificado de uso conforme y conservación de suelos, brindado por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), pueden solicitar un rebajo en el pago del impuesto de bienes inmuebles del 40%. Complementariamente, el equipo de ProDUS-UCR diseñó una estrategia para utilizar el certificado de conservación de suelos como un distintivo del producto, por el que se podría cobrar un sobre precio que compensaría las inversiones en conservación de suelo.

Según los cálculos realizados, la propuesta solo es viable si se logra que el productor venda sus productos con un sobre precio de 50 colones por cada kilogramo de papa y cebolla que venda, esto por su labor en la conservación de suelos en la finca.

Para establecer la viabilidad económica se consultó a 320 personas, en los días 14, 15, 21 y 22 de mayo del año 2016, en las ferias del agricultor de: Alajuela, Santa Ana, Aserrí, Sabanilla, Puriscal, Hatillo, Heredia y Coronado; en las cuales, se utilizó un cuestionario como herramienta de investigación. En cuanto al monto económico que las personas estarían dispuestas a pagar de más por el kilo de un determinado producto, un 33% refiere que podría pagar 100 colones más, seguido de un 21% que determinó 150 colones como la opción elegida, un 15% pagaría 200 colones de sobreprecio, un 18% dio como respuesta 50 colones, un 3% pagaría 250 colones, y un 8% estaría dispuesto a pagar 300 colones. Asimismo, un 2% de las personas entrevistadas, dijeron que pagaría un sobre precio, pero no indicaron el monto. Por otra parte, es importante destacar que de la totalidad de personas que mencionaron no estar dispuestas a pagar un sobreprecio, un 73% no conoce de la problemática de conservación de suelos en el volcán Irazú, lo que puede vincular el desconocimiento con la apertura a dicha iniciativa.

IV. RECONOCIMIENTO

Ph.D. Alejandra Rojas González (Escuela de Biosistemas de la Universidad de Costa Rica-UCR) realizó el análisis correspondiente al indicador hidrológico y soluciones a los problemas de inundación de la investigación. Al equipo de investigación: Luis Zamora González, Félix Zumbado Morales, Marcos Castillo Bastos, Roger Mesen Leal, Andrés Montealegre Alfaro, Paola Salazar Arce, Adolfo Gell Loría, Cindy león Sequeira y Marice Miranda Zúñiga.

Paisajes Culturales: perspectivas para la conservación del paisaje en Costa Rica

Cultural Landscapes: approaches for the landscape's conservation in Costa Rica

MSc. Lucía Riba Hernández
Escuela de Ciencias de Arquitectura, Universidad de Costa Rica
e-mail: LUCIA.RIBA@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Conservación-desarrollo sostenible-gestión patrimonial-paisaje cultural.

I. INTRODUCCION

El avance de investigación aquí resumido corresponde a un tracto de mi trabajo doctoral, en proceso de finalización, en el cual realizo un análisis alrededor de la categoría “paisaje cultural”, tal y como ha sido instituida en la Convención del Patrimonio Mundial de 1972, y su implementación en la región latinoamericana. Este trabajo reconoce al paisaje como bien que agrupa valores patrimoniales, tanto culturales como ambientales, y como aspecto transversal en las acciones de planificación y gestión territorial.

El paisaje cultural ha ganado un lugar cada vez más importante en espacios académicos, en los proyectos de inversión promovidos por las alianzas público-privadas articuladas algunas veces con la burocracia internacional para la conservación del patrimonio cultural y natural, y en las políticas públicas estatales como un componente más de trabajo o como tema focal. En esta investigación se aborda al paisaje según lo define Milton Santos [6, p.21], es decir, como el “resultado de las relaciones sociales, de las formas de producción, de las funciones y sentidos que pueden describirlo en cualquier condición como cultural y como producto heterogéneo de la multiplicidad”, que de forma concreta, recalca el mismo autor se constituye a partir de “el conjunto de formas que, en un dado momento, exprimen las herencias que representan las sucesivas relaciones localizadas entre hombre y naturaleza” [7, p.103]. Es decir, el paisaje aquí abordado no es más el exclusivamente “verde”, sino que, corresponde a una imagen que contiene información sobre como ocupamos el territorio, independientemente de tratarse de contexto urbano o rural, o meramente natural.

El paisaje corresponde a un objeto abordado por una amplia gama de campos disciplinares, no obstante, según lo señala Metzger [4, p.2-3] la Ecología de Paisajes en conjunto con la Geografía son los campos disciplinares que aportan conceptos como el de “unidad de paisaje” y algunas

herramientas para su análisis, entre estos, conceptos como ecosistema, diversidad biológica y manejo de recursos naturales, estructurantes de la conservación ambiental, por ejemplo.

Desde la perspectiva del Arte, la Historia y la Filosofía, Cauquelin [2 p.7-8) señala que la idea de paisaje creada por Occidente, especialmente la europea del siglo XV, está anclada en éste como una “representación poética del mundo” [2, p.7), ilusión que le ha dado un peso estético a los valores del paisaje. Esta perspectiva tiene efectos significativos, siento que inclusive llega a no considerarse posible la existencia de paisaje en lo urbano, lo periférico en las ciudades, o en aquello que no contiene elementos de la naturaleza. Figueiredo [3 p.18], siguiendo también a Cauquelin [2], debate la forma en que la valoración del paisaje como patrimonio, en su dimensión cultural especialmente, está cargada de nociones meramente estéticas, lo cual implica vacíos de gestión y de abordaje conceptual.

A partir de la crisis ambiental producto de la segunda revolución industrial y la explosión demográfica urbana asociada, especialmente, las Naciones Unidas a finales de la década de 1980, declara al desarrollo sostenible como modelo global para conseguir la administración de los recursos naturales sin limitar su disponibilidad futura. A partir de ese momento se evidencia una creciente presencia de la sostenibilidad ambiental en el discurso del patrimonio cultural, siendo que en 1992 se incorpora el paisaje cultural como sub-categoría en la Lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. Se define así en sus Directrices Prácticas [9] como “la obra combinada de la naturaleza y el hombre...e ilustrativo de la evolución de la sociedad y los asentamientos humanos a lo largo del tiempo [9, p.20], constituyéndose así en un concepto “universal” y obligatorio para el ámbito e la conservación del paisaje, desde la perspectiva cultural.

II. METODOLOGIA

Para realizar este análisis se ha acudido esencialmente a la revisión documental y a la realización de entrevistas con informantes clave, las cuales a causa de la emergencia declarada ante la pandemia por COVID-19 han tenido que ser reformuladas y algunas aplazadas debido a la disponibilidad de los informantes. Inicialmente, se realiza una revisión de literatura de base teórica que permite estructurar una línea de base que parte del concepto de patrimonio mas allá de los bienes que son institucionalizados mediante decretados, el paisaje cultural como objeto de estudio y los antecedentes de su presencia en áreas de trabajo como la Geografía Cultural, la Ecología de Paisajes, y otras como la Arqueología, el Urbanismo y el Paisajismo, esta fase de la investigación se articula a partir de una revisión crítica del Desarrollo Sostenible como meta que justifica en el ámbito de la burocracia internacional la inclusión del paisaje cultural como categoria de conservación en la Lista del Patrimonio Mundial y el Convenio Europeo del Paisaje, instrumentos contemplados como referentes de análisis. Posteriormente, se realiza una revisión de tres experiencias regionales, el Paisaje Cafetalero de Colombia, el Paisaje Carioca de Rio de Janeiro, ambos en la Lista de Patrimonio Mundial, y el caso de las acciones de protección de los paisajes andinos por parte de algunos Estados, donde un cuerpo normativo e institucional que ha colocado al paisaje como uno de sus ejes de gestión territorial. Esta aproximación buscar realizar finalmente una evaluación y un

análisis del conjunto de antecedentes, políticas públicas, normativa y acciones llevadas a cabo en Costa Rica en materia de conservación patrimonial, tanto ambiental como cultural, para identificar la forma en que el paisaje es abordado en estos escenarios. Es esta última fase de investigación en la que este breve documento se enfoca, concretamente en la identificación de los ámbitos y agentes que tienen actuación en el paisaje con impacto en su conservación como bien patrimonial.

III. RESULTADOS

En el contexto latinoamericano, las acciones para la conservación de los paisajes se han articulado a partir de dos enfoques, principalmente, desde la conservación del patrimonio cultural siguiendo las pautas establecidas en la Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención para la Conservación del Patrimonio Mundial Cultural y Natural de 1972, en las cuales se insituyó la categoría del Paisaje Cultural en 1992, y, desde un conjunto de proyectos que en concordancia con la Agenda Habitat 2030 y las metas para la mitigación del impacto del Cambio Climático, principalmente auspiciada por las Naciones Unidas. Estas acciones proponen colocar al paisaje como dimensión del territorio donde se condensan acciones para la consolidación de corredores biológicos, la gestión de cuencas hidrográficas y la sostenibilidad de los recién llamados “paisajes productivos”. Ambos enfoques están atravesados por el Desarrollo Sostenible, producto de una lógica capitalista, que ha colocado a la naturaleza y la cultura, y por defecto al paisaje, como objetos de mercado, proceso acentuado en el contexto global neoextractivista en el que la región latinoamericana ha sido sensiblemente afectada, según lo señala Svampa [8]

...se hace evidente el vínculo entre neoextractivismo, acaparamiento de tierras y desigualdad. América Latina resulta ser no sólo la región más desigual del planeta, es también la región con la peor distribución de tierras a nivel global, a raíz del avance de los monocultivos y la desposesión, en beneficio de grandes empresas y latifundistas privados [8, p.120]

No obstante, y paralelo a esos escenarios, en Costa Rica el paisaje como objeto hacia el cual se orientarían políticas acompañadas de instrumentos regulatorios de salvaguarda y gestión específicas, continúa siendo tímidamente tratado, aún cuando existe en la Ley Orgánica del Ambiente [1] en su artículo 72, la indicación para que sean promovidas acciones sectoriales para su conservación. Específicamente, son pocas las acciones que tienen un impacto sobre la conservación de los paisajes, las cuales pueden organizarse de la siguiente forma, y a partir de los instrumentos y estrategias que las articulan:

1. La Ley Orgánica del Ambiente [1], y especialmente, el Reglamento de Contaminación Visual 35860-MINAET [6], que señala en su Artículo 5 el marco general bajo el cual se vinculan las políticas y acciones, clasificándolas en tres ámbitos de acción, la protección, la gestión y la ordenación de los paisajes, y dándole a los gobiernos locales mediante los planes reguladores responsabilidades específicas. El Reglamento se identifica como el único recurso normativo existente que trata específicamente sobre el paisaje en el marco jurídico costarricense, y que según la jerarquía de los instrumentos legales, responde en

primera instancia al artículo 50 de la Constitución Política, el 89 que trata de la obligación del Estado de proteger el patrimonio natural y cultural nacional, y a la Ley Orgánica del Ambiente, en su numeral 72. A partir de estos lineamientos, se identifica una línea base de análisis de la que se derivan proyectos, políticas públicas nacionales e institucionales, y alianzas público-privadas como las antes mencionadas.

2. Instrumentos del marco normativo que tutelan aspectos que le son parte constituyente, como la diversidad biológica, los ecosistemas, los suelos, las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua, la construcción de obras que pasan por procesos de evaluación de impacto ambiental y en parte en algunas medidas orientadas a la protección del patrimonio cultural. Se incluye en este apartado la Ley de Zona Marítimo Terrestre que contempla medidas de control para la construcción de obras, previniendo posibles impactos sobre el paisaje costero.
3. Planes reguladores que en cumplimiento con el Reglamento 35860-MINAET deben contemplar acciones para la protección, gestión y su ordenamiento. Este proceso se apoya con el Mapa de Unidades de Paisaje de la GAM elaborado por un equipo de investigadores de la UCR y permite realizar interfaces de datos para la toma de decisiones sobre el paisaje.
4. Las alianzas público-privadas que a partir de programas “sombrilla” como Canje de Deuda por Naturaleza o las metas de la Agenda Hábitat 2030 de las Naciones Unidas promueven la realización de consultorías que generan datos, propuestas de intervención o que implementan acciones en conjunto con municipalidades y otras entidades estatales. Tal es el caso del Corredor Biológico Interurbano del Río Torres, el Plan 4D-2050, Regenerando el Centro de la Municipalidad de San José, la iniciativa Paisajes Productivos en la cual participan el MINAE, GEF, (Fondo Mundial para Medio Ambiente por sus sigla en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y organizaciones no gubernamentales locales.
5. Existe además un compendio de investigaciones especialmente desde la Geografía y la Antropología que permite identificar áreas de trabajo en Ecología de Paisajes, análisis de paisaje y ocupación del suelo en relación con actividades productivas, calidad ambiental

Aunque parezca amplia la lista, igualmente revela vacíos que exponen continuamente a los paisajes a intervenciones que lesionan su calidad, es decir, que rozan con el derecho constitucional difuso a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, tal como el numeral 50 de la Constitución Política lo determina. Esta lista evidencia además, el fuerte peso político y financiero dedicado al enfoque ambiental del paisaje, especialmente por parte de instancias estatales que ejecutan programas y proyectos bajo la modalidad de cooperación con agencias internacionales, aparato burocrático alimentado por la robusta “agenda verde” que Costa Rica mantiene. No obstante, con mucho menos peso y recursos financieros asociados, el enfoque del paisaje como objeto de conservación cultural presenta debilidades sensibles que inclusive han tenido un impacto significativo ante los controles políticos para monitorear y tutelar el impacto de obras en contextos urbanos, siendo el mejor ejemplo, el proceso de concurso, adjudicación y construcción del nuevo edificio de la Asamblea Legislativa. Sin embargo, puede destacarse el caso de la declaratoria de la “Tapia

de adobe”, mediante el decreto 37171-C del 2012, construcción que consiste en un muro de adobe de 374 metros localizado en el cantón de Barva de Heredia, cuya declaratoria contempla el valor paisajístico cultural y urbano como justificantes. Desafortunadamente, este caso es la excepción a la regla ya que son casi inexistentes los las declaratorias o las medidas jurídicas que salvaguardan paisajes bajo esta categoría, aún cuando la legislación nacional prevé esa posibilidad.

En general, los agentes involucrados, tanto en la gestión, como la conservación y planificación de paisajes, se encuentran concentrados en el aparato estatal, concretamente en municipalidades, ministerios, universidades y otras instituciones educativas de índole privado, que mediante alianzas público-privadas consiguen contar con fondos para la contratación de servicios profesionales y ejecutar proyectos de inversión. Se articula así un mapa general que señala al Estado como gestor central de las acciones, con debilidades de gestión y control sensibles, lo cual genera una vulnerabilización del derecho colectivo a la calidad del paisaje en el contexto costarricense, escenario hipotético que guía esta investigación.

IV. REFERENCIAS.

- [1] Asamblea Legislativa “Ley 7554, Ley Orgánica del Ambiente”, Costa Rica, 1995 (en línea). Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=TC
- [2] A. Cauquelin, “*A invenção da paisagem*”. Livraria Martins Fontes Editora Ltda. Brasil, 2007
- [3] V. Figueiredo. “A categoria da paisagem cultural na prática da UNESCO, avanços, incoerências e desafios”. en *Anais do IV Encontro Internacional sobre Conservación del Patrimonio Construido*. SSA, Brasil, 2013. FAUFBA.
- [4] J. Metzger. “O que é ecologia de paisagens?” *Biota Neotrópica*, Vol. 1, números 1 e 2, 2001 (en línea) Disponible en: http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?the_matic_review+BN00701122001.
- [5] Ministerio de Ambiente y Energía ‘Reglamento para la Prevención de la Contaminación Visual’, Costa Rica, 2010 (En línea). Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67623&nValor3=80220&strTipM=TC
- [6] M. Santos, ”Metamorfose do espaço habitado, fundamentos teórico e metodológico da geografia”, en *Paisagem e espaço*”. SP, Brasil, 1988, pp.1-26.
- [7] _____. “A natureza do espaço, técnica e tempo, razão e emoção”. Edusp, SP, Brasil, 2014.
- [8] M. Svampa, “*Las fronteras del neoextractivismo en América Latina, conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*”. Colección CALAS, Alemania. 2019.
- [9] UNESCO. “Operational Guidelines for the Implementation of World Herirage Convention”. Centro Mundial del Patrimonio, París. París, 2019.

Explorando los efectos del COVID-19 en los precios de propiedades y alquileres urbanos de la GAM

Exploring the effect of COVID-19 on urban real estate price and rents of the GAM

Rosendo Pujol Mesalles

*Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
e-mail: rosendo.pujol@ucr.ac.cr*

Eduardo Pérez Molina

*Profesor, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
e-mail: eduardo.perezmolina@ucr.ac.cr*

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos teóricos que explican los precios de inmuebles en mercados urbanos están determinados por accesibilidad y tamaño de los inmuebles (con variables relevantes como densidad poblacional endogeneizados y otras, e.g. el entorno inmediato, no consideradas) [1]. La pandemia de COVID-19 y las medidas gubernamentales tomadas para reducir el contagio [2] han cambiado el comportamiento de los agentes urbanos [3], lo cual podría cambiar las expectativas de precios de inmuebles. En la Gran Área Metropolitana (GAM), diferentes factores pueden explicar dichos cambios: las restricciones mismas a la movilidad y el pesimismo sobre el futuro de la economía [4], pero también un mercado inmobiliario en que los precios ya eran altos con respecto a los ingresos de las familias. Existe evidencia de una menor demanda por espacio de oficinas e incertidumbre en el sector residencial sobre pago de hipotecas, que presionan los precios a la baja [5].

¿Han bajado los precios de venta y alquiler de bienes inmuebles en la GAM desde el inicio de la pandemia? La pandemia claramente ha introducido incertidumbre entre los agentes urbanos, modificando las interacciones entre ellos que determinan los precios de bienes inmuebles urbanos. Los resultados de este trabajo son un primer intento por evaluar las consecuencias posibles de esta dinámica sobre la región.

La pregunta de investigación fue explorada compilando una base de datos de ofertas de propiedades en venta y en alquiler de la GAM [6]. Los registros, descargados a inicios de mayo y septiembre de 2020, incluyen localización y fecha de cada anuncio, lo cual permite investigar patrones con una escala temporal mensual (desde noviembre de 2019) en la región. Así, los resultados describen el cambio en las distribuciones de precios e identifican los diferenciales para distintas zonas en el tiempo.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Fig. 1 muestra los precios de las propiedades ofertadas en venta, para el conjunto de los datos (figura de la izquierda) y para tres meses seleccionados: enero, antes de la pandemia en Costa Rica, agosto que es el mes más reciente disponible en los datos, y mayo –el punto intermedio entre ambos y el periodo después de Semana Santa en que habían ya iniciado las restricciones a actividades urbanas en la GAM. Cuando se comparan los precios de estos tres meses, puede verse que aumenta la cantidad de propiedades ofertadas en el tiempo, progresivamente se reduce la mediana del precio (señal de una ligera reducción general en ellos) pero también continúan ofertándose propiedades en todo el rango de la distribución estadística general (vivienda de bajos y de altos precios, en proporciones diferentes según el mes).

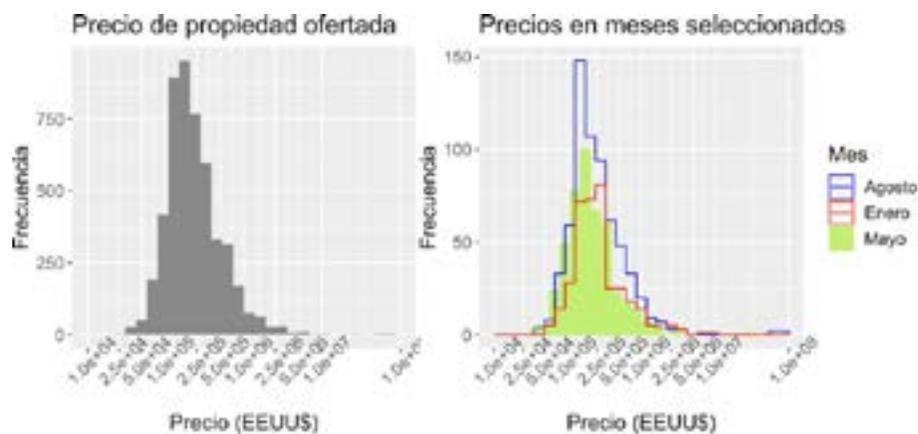


Fig. 1. Histogramas de precio de propiedades ofertadas (en venta) en la GAM para enero a agosto de 2020 y meses seleccionados.

Al examinar los patrones de los anuncios, se encuentran que la localización de las ofertas es diferente para las viviendas de alquiler (más concentradas en el centro de la región y sus principales ciudades) y las que se venden, que tienen muchos casos cerca de Atenas, varios cantones de Cartago y el norte de Heredia.

También varían espacialmente los cambios en el precio: la Fig. 2 muestra el cambio de precio promedio y la desviación estándar en los 17 cantones de la GAM con más de 10 datos para dos periodos (enero-febrero y julio-agosto). Cuatro de ellos (Curridabat, La Unión y Alajuela, incrementos; Cartago, reducción) muestran cambios muy grandes en el precio promedio. En todos ellos, la dispersión medida por la desviación estándar es muy grande en el segundo periodo. Para el resto de cantones, hay reducciones importantes en el este y sur del área metropolitana de San José, en San José, Desamparados, Montes de Oca y Moravia (pero no en Goicoechea). Al oeste de San José y sur de Heredia (Escazú, Mora, Santa Ana, Belén), los cambios son muy pequeños, excepto en Mora. Por último, en Heredia, los cantones más centrales (Heredia y Santo Domingo) muestran reducciones y los periféricos (Barva y San Rafael), aumentos de precio promedio. Aunque los cambios de precio son perceptibles en la Fig. 2, ninguno es estadísticamente significativo al 95% de confianza.

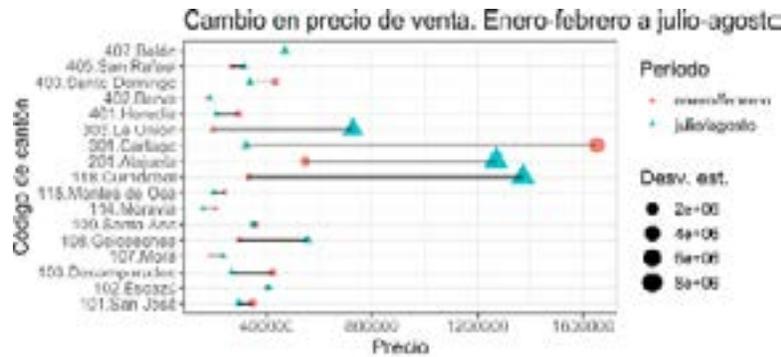


Fig. 2. Evolución del precio promedio de propiedades ofertadas (en venta) en la GAM por cantón entre enero-febrero y julio-agosto de 2020.

En suma, hay una tendencia en la GAM hacia una reducción modesta en las expectativas de precio de las propiedades ofertadas en venta (no está aún claro si esta se repite para propiedades en alquiler). Las características de los inmuebles en la base de datos no parecen haber cambiado, por lo cual debería atribuirse a la coyuntura económica causada por la pandemia. Sin embargo, esta tendencia general se manifiesta de forma diferente en distintos lugares de la región (de las variaciones sistemáticas en el espacio, existe evidencia sobre la importancia de la accesibilidad al centro de San José como determinante de los precios de casas en [7]).

Hay mucha incertidumbre sobre el impacto del COVID-19 en la economía costarricense y en el sector de construcción de vivienda privada, que indirectamente se analiza en este trabajo. Entender el mercado es importante para reducir la incertidumbre y aumentar con ello la actividad económica. Parte de este proceso incluye el uso de modelos estadísticos espacio-temporales para entender el precio (e.g. Krige espacio-temporal) y sus determinantes [1]; sobre la relación entre ellos y el precio de los inmuebles, la alta resolución temporal (variaciones mensuales) representa un reto que se ve complicado por la existencia de variación espacial simultánea. El uso de modelos multinivel con efectos espaciales [7] es la estrategia prevista para desarrollar modelos de determinantes del precio, que debe ser extendida para incorporar tendencias.

REFERENCIAS.

- [1] E.L. Glaeser, *Cities, Agglomeration, and Spatial Equilibrium*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press, 2008.
- [2] Costa Rica, Ministerio de Salud, “Situación Nacional Covid-19”, el ministerio, San José, Costa Rica, 2020. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/centro-de-prensa/noticias/741-noticias-2020/1725-situacion-nacional-covid-19>
- [3] G. Bonaccorsi et al., “Economic and social consequences of human mobility restrictions under COVID-19”, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 117, no. 27, pp. 15530–15535, July 2020.
- [4] J. Madrigal, “La confianza de los consumidores. Encuesta No. 67. Agosto 2020”, Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2020.

- [5] L. Valverde, “Pandemia puso de cabeza al sector inmobiliario... ¿Qué pasará ahora?”, CRHoy, San José, Costa Rica, 2020. Disponible en: <https://www.crhoy.com/economia/pandemia-puso-de-cabeza-al-sector-inmobiliario-que-pasara-ahora/>
- [6] J. Agüero-Valverde et al., “*Actualización del Plan Regulador del cantón Goicoechea. Etapa diagnóstico. Eje económico*”, ProDUS-UCR, San José, Costa Rica, 2020.
- [7] E. Pérez-Molina, “Exploring a Multilevel Approach with Spatial Effects to Model Housing Price in San José, Costa Rica”, manuscrito enviado para publicación, 2020.

Vivienda inclusiva de alta densidad y derecho a la ciudad en Costa Rica

Inclusive high-density housing and the right to the city in Costa Rica

Dania María Chavarría Núñez
Directora de Posgrado en Arquitectura, docente e investigadora,
Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica
e-mail: danialchavarríanunez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Alta densidad, ciudad, derecho, estrategias, vivienda inclusiva.

I. INTRODUCCIÓN

El acceso a la vivienda es un elemento clave para ejercer el Derecho a la Ciudad, que depende en gran medida de propuestas adecuadas de ordenamiento territorial, asociadas a Políticas de Estado, para lo cual se debe priorizar la ubicación adecuada de la vivienda, en función al resto de actividades en la dinámica de la ciudad. La vivienda posee la capacidad de funcionar como constructor de entornos, que promueve las relaciones sociales, además de su impacto como dinamizador económico, por lo que se le considera un factor de desarrollo humano, una oportunidad de movilidad social y un aporte a la mejora de la calidad de vida.

En Costa Rica, debido a los altos costos del suelo urbano, se han promovido en las últimas décadas, tendencias de desarrollo y ocupación del suelo, horizontales, extensivas y de baja densidad, que han consumido de forma poco planificada el territorio disponible, afectando el componente habitacional, especialmente en una disminución de la calidad de vida y segregación social. Los suelos suburbanos o rurales presentan concentraciones habitacionales en los límites o las afueras de las áreas urbanizadas sin infraestructura y equipamientos adecuados, mientras que se deshabitaban las áreas céntricas, enfocándolas a actividades de comercio y servicios, desaprovechando la oferta de infraestructura y servicios existentes, claves para consolidar con menor costo actividades residenciales.

II. METODOLOGÍA

Desde el Posgrado en Arquitectura de la Universidad de Costa Rica, se han desarrollado diversos estudios, que buscan analizar, proponer y fomentar nuevos modelos de vivienda, en asentamientos humanos de tipo compacto, bajo la fuerte convicción, de que la inclusión social debe ser el punto de partida y la meta a alcanzar, fomentando así el aprovechamiento del territorio,

con densidades adecuadas y proyectos dirigidos a todos los estratos sociales, ante lo cual surge como pregunta principal: ¿Existe una única receta para mitigar los problemas de vivienda en Costa Rica?

En Costa Rica un 75% de la población es urbana, no obstante, posee una de las densidades habitacionales más bajas de América Latina, de acuerdo con [1] un 52,7% de las zonas urbanizadas se concentran en el 3.84% del territorio (GAM), presentando problemas de movilidad, deterioro, abandono y pobreza urbana. Se han identificado varios problemas de vivienda, los cuales no pueden ser mitigados ni resueltos con la misma receta, por lo que se han explorado diversas estrategias y modelos de vivienda inclusiva de media y alta densidad, con la intención de generar opciones para que la población de todos los estratos sociales tenga acceso al suelo urbano y puedan ejercer su Derecho a la Ciudad.

III. RESULTADOS

Existen varios problemas que enfrenta una gran parte de la población en temas de vivienda en Costa Rica, los cuales no pueden ser mitigados y resueltos de la misma manera, entre los que podemos citar:

- Poblaciones que viven en áreas de la ciudad con déficit o deterioro en infraestructura, espacios públicos y equipamientos urbanos.
- Poblaciones que califican para el subsidio de vivienda del Estado, pero que no encuentran el proyecto ni terreno para aplicarlo, sin que implique un desarraigo de su zona de empleo y redes sociales.
- Poblaciones que no tienen acceso al subsidio de vivienda del Estado, ni son sujetos a crédito por su alto nivel de endeudamiento o porque el costo de la oferta de vivienda supera su capacidad de pago.
- El habitante del asentamiento informal que se encuentra sin opciones para mejorar las condiciones de su entorno y que en muchas ocasiones no califican para un subsidio de vivienda, siendo que un alto porcentaje de estas familias están expuestas a peligros por las características topográficas e hidrológicas de los sitios que habitan.
- En resumen, toda la población que se ve afectada por el modelo expansivo y de baja densidad de una urbanización ineficiente e insostenible, que a la vez, ha contribuido a una segregación social marcada.

Ante estas circunstancias, se han propuesto diversas alternativas, enfocadas en las problemáticas encontradas. Las formas de encontrar opciones técnicas y financieramente viables son varias, entre ellas: el diseño y desarrollo de conjuntos residenciales en la modalidad de micro condominios que facilita el manejo social y la administración de los mismos, los proyectos de viviendas de huella pequeña que consiguen una alta densidad en viviendas individuales, los condominios de

alta densidad y baja altura (3 a 4 niveles), cuyo impacto en la trama urbana es reducido y que consiguen aprovechar de mejor forma el suelo urbano, los proyectos de vivienda inclusiva y sostenible como estrategia de acupuntura urbana, que resuelven de manera puntual la problemática de zonas en deterioro, entre otras estrategias.

La investigación resume las principales características de estas distintas formas de promover el desarrollo del hábitat, mediante modelos de vivienda inclusiva de alta densidad, destacando los impactos más relevantes en su propósito de garantizar el Derecho a la Ciudad, según el contexto en que se desarrollen.



Fig. 1. Proyecto de vivienda La Arboleda, Tibás, FUPROVI. Fuente: Fotografía propia.

IV. REFERENCIAS

- [1] Unidad Editorial Información Económica S.L. Expansión. “Datosmacro.com”. <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/costa-rica> (22 de setiembre 2020)
- [2] <https://easychair.org/conferences/submitted?a=25319826;submission=5161227;track=261959>

Evaluación de la metodología del Desarrollo Orientado al Transporte Público en corredor vial

Transit Oriented Development methodology assessment in a roadway corridor

Daniela Segura Segura
Estudiante, Ingeniera Civil, Universidad de Costa Rica
e-mail: danielasegurasegura09@gmail.com

Palabras clave:

Desarrollo Orientado al Transporte Público, modernización y sectorización del transporte público, movilidad sostenible, planificación urbana.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional junto a la falta de ordenamiento territorial ha generado que las ciudades se expandan de una manera desordenada y dispersa, lo cual se ha visto directamente reflejado en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM). Este fenómeno aunado a un sistema de transporte público deficiente han ocasionado múltiples consecuencias en relación con la dependencia en el vehículo privado, es decir, mayores niveles de accidentabilidad, congestión vial, contaminación y en general, una disminución en la calidad de vida de los ciudadanos [1].

Tradicionalmente se ha invertido gran cantidad de dinero en incrementar la capacidad vehicular en las carreteras para disminuir la congestión, sin embargo, el resultado ha sido un aumento en la demanda, por lo que la solución debe ser distinta. Si se pretende mejorar la eficiencia en los tiempos de viaje se requiere una planificación urbana reorientada a diversas formas de movilidad como caminar, el uso de la bicicleta y el transporte público masivo. Para ello, el estudio de Segura & Jiménez [2] propone la metodología del Desarrollo Orientado al Transporte Público (DOTP) como una manera de evaluar qué tan orientadas están las prácticas y políticas de desarrollo urbano respecto a la movilidad urbana sostenible.

II. METODOLOGÍA

El presente documento resume los resultados principales de la evaluación realizada mediante la metodología Estándar DOT [3] la cual se ajustó al contexto nacional. La evaluación se aplicó en cinco áreas de influencia establecidas en un radio de 500 m caminables a partir de las paradas de transporte público del corredor San José-Sabanilla-La Campiña, debido a que es una de las troncales más importantes del Proyecto de Modernización y Sectorización del Transporte Público Masivo de la GAM.

El análisis se dividió en zona aledaña (aceras ubicadas a un costado de la vía principal) y zona adyacente (demás segmentos peatonales de la zona de influencia). En cada área de influencia se determinó una puntuación en base 100% a partir de 23 indicadores formados por ocho principios. Dicho porcentaje se distribuye tal como se indica a continuación: Caminar (16%), Pedalear (5%), Conectar (16%), Mezclar (18%), Densificar (15%), Compactar (14%), Cambiar (16%) y Transportar, este último no tiene una puntuación específica ya que es un pre-requisito contar con un medio de transporte masivo en el área de estudio. Si un área de influencia cumple la totalidad en cada principio, obtendrá los 100 puntos porcentuales y será catalogada de acuerdo con el ITDP [3] como líder global en todos los aspectos del desarrollo urbano orientado al transporte, a la movilidad peatonal y ciclista.

El análisis se desarrolló mediante la Calculadora DOTP, esta es una herramienta que facilita la introducción de datos y calcula las puntuaciones respectivas. En la Fig. 1 se muestra la zona de estudio y su ubicación.

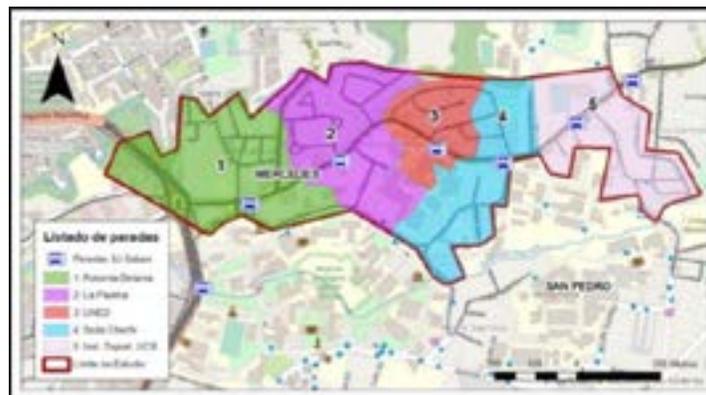


Fig. 1. Zona de estudio y ubicación. Tomada de Segura & Jiménez, 2019 y modificada por Segura, 2020.

III. RESULTADOS

Entre los resultados más críticos se tienen los siguientes. El principio Caminar es la base de la movilidad sostenible, sin embargo, se obtuvieron resultados deficientes en cada área de estudio. Las vías peatonales tienen múltiples deterioros, presenta obstáculos tales como árboles, gradas o accesos vehiculares, muchos segmentos no cumplen el ancho mínimo normado, no hay una continuidad que permita una fácil movilidad a personas con discapacidad, la cantidad de cruces peatonales no cumplen con el mínimo recomendado, poca sombra e incluso inexistencia de aceras. Además, respecto a la percepción de seguridad se evalúa la iluminación peatonal, que las fachadas permitan contacto visual con el interior de las edificaciones o el acceso a las mismas, no obstante, estos indicadores fueron deficientes.

El principio Pedalear evidenció una falta de normativa que lo respaldara. No existe una configuración segura para los ciclistas en las áreas de influencia en estudio. A pesar de que, en algunas edificaciones se encontraron ciclo parqueos, no hay ciclo vías que permitan las conexiones entre los orígenes y destinos, por lo que los ciclistas arriesgan sus vidas.

Otro de los principios más crítico es Conectar, este evalúa la conectividad de los peatones y ciclistas, es decir, si cuentan con rutas más cortas y eficientes que otros medios de movilidad. Sin embargo, las longitudes de las cuerdas son más extensas que lo recomendado, asimismo, se comprobó que en la zona de estudio solo hay dos caminos exclusivos para peatones o ciclistas, por lo que no se cumplió con el mínimo requerido.

El principio Densificar se evaluó a partir de la comparación de las densidades poblacionales de cada área de influencia con la mediana y el percentil 85 de las Unidades Geoestadísticas Mínimas de la GAM, calculadas con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC). En todos los casos los resultados obtenidos estuvieron por debajo de la mediana, por tanto, son poco densos.

Los principios Mezclar, Compactar y Cambiar tuvieron resultados menos críticos, estos evalúan la variedad entre usos de suelo que permitan el fácil acceso a necesidades básicas como salud, alimentación, educación y recreación, un desarrollo compacto que optimice el espacio para que las distancias sean cortas y una oferta reducida de estacionamiento vehicular para aprovechar el espacio público en una forma más productiva tanto social como económicamente.

Los máximos puntajes totales obtenidos para cada área de influencia, tomando en cuenta los 23 indicadores, fueron de 48% para la zona adyacente en el área de influencia UNED (N°3 Fig.1) y 43% para la zona aledaña en el área de influencia Instalaciones Deportivas (N°5 Fig.1), al ser inferiores a 56%, de acuerdo con la metodología, se considera una zona ineficiente y con poca o nula planificación entorno a la movilidad.

CONCLUSIONES

La Metodología Estándar DOT permite identificar las necesidades prioritarias en cada área de influencia por parada de transporte público y mediante la Calculadora DOT se evalúa el impacto que generan las intervenciones propuestas. A nivel general, en la zona de estudio se identificó que los principios más críticos fueron Caminar, Pedalear, Conectar y Densificar, sin embargo, los indicadores revelan las deficiencias de una forma específica, esto permite que la Municipalidad realice planes de gestión y políticas públicas que promuevan la adecuada regulación del uso del suelo, inversión en infraestructura urbana para peatones y ciclistas, planes de densificación que considere la inversión privada, inclusión en el Plan Regulador de normativa para movilidad ciclista como estacionamientos, entre otras medidas que promuevan la planeación del transporte en conjunto con la planeación de la ciudad y sus usos de suelo, lo cual permitirá un desarrollo urbano más eficiente, más humano y más equitativo.

REFERENCIAS

- [1] L. Loría, R. Barrantes, D. Jiménez, V. Lezama, M. Morales, J. Rodríguez, W. Sequeira y P. Vega, «Implicaciones en Infraestructura y Transporte» Programa Estado de la Nación, San José, 2014
- [2] D. Segura y D. Jiménez, «Evaluación de la zona de influencia de la troncal de transporte

público San José-Sabanilla-La Campiña mediante la metodología del Desarrollo Orientado al Transporte Público,» Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José, Costa Rica, 2019.

- [3] ITDP, «*DOT Estándar versión 3.0,*» ITDP, México, 2017.
- [4] MOPT, «*Plan de Implementación de la Primera Etapa del Proyecto de Sectorización y Modernización del Transporte Público Masivo Modalidad Autobús del AMSJ,*» MOPT, San José, Costa Rica, 2018.

Tema IV

Prevención y mitigación de riesgos + soporte y mejoramiento de procesos

Análisis de sitios de concentración de choques viales mediante la utilización de sistemas móviles para el inventario de carreteras en la Ruta Nacional 1

Road crash frequency analysis with mobile survey systems on the National Route 1

Stephan Rodríguez Shum

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

e-mails: stephan.rodriguez@ucr.ac.cr

Jonathan Agüero Valverde

Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

e-mails: jonathan.aguero@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Bayes completo, choques viales, poisson log-normal, ruta nacional 1, seguridad vial.

I. INTRODUCCIÓN

La Ruta Nacional 1 es la vía con el mayor tránsito promedio diario del país, con un valor cercano a los 105.000 vehículos/día y brinda conexión a 5 de las 7 provincias del país, sin embargo, a pesar de su importancia estratégica, se ubica como la cuarta ruta con mayor exceso de frecuencia de defunciones por choques viales en el país [1].

Dada la importancia de la ruta, el grado de siniestralidad vial y la ausencia de investigaciones detalladas para identificar los sitios con mayor exceso de frecuencia de choques viales, esta investigación determinó los sitios de concentración de choques viales en segmentos mediante el método de exceso de frecuencia de choques esperado con ajuste de Bayes completo con un modelo Poisson log-normal, para el periodo 2012 – 2014. De forma complementaria, ante la ausencia de registros geométricos detallados de las rutas del país, se exploró la incorporación de variables geométricas a partir del uso de un sistema de inventario móvil.

II. METODOLOGÍA

Como insumo base para los modelos se utilizaron los datos de choques viales del Consejo de Seguridad Vial para el periodo 2012 – 2014, información que posterior a ser depurada y filtrada, alcanzó un registro de 5067 eventos en segmentos.

Para restringir la variabilidad asociada al uso de suelo, dinámicas de la vía y su efecto en la accidentabilidad, se segmentó la ruta en 3 secciones: Autopista General Cañas (Tramo 1), Autopista Bernardo Soto (Tramo 2) y Carretera Interamericana Norte (Tramo 3). Cada una fue subdividida en tramos homogéneos con características operativas y geométricas similares, para un total de 378 tramos de análisis.

El levantamiento generado con el sistema de inventario móvil Geo3D y su programa Trident permitió registrar las variables de velocidad reglamentaria, cantidad y ancho de carril, ubicación de accesos y zona libre disponible (ZLD). Información que complementó las bases de datos asociadas a los resultados de deflectometría de impacto (FWD) e índice de regularidad internacional (IRI) registrados por el LanammeUCR, la tasa de curvatura que fue estimada mediante el programa ArcGIS y registros de tránsito promedio diario (TPD) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Para el caso desarrollado se utilizó una distribución Poisson log-normal, distribución que no se podría estimar por medio de la estadística frecuentista, está a pesar de ser simple para modelos univariados, permite flexibilizar la distribución Poisson al definir su distribución de errores como normal, así como la varianza con una distribución Gamma [2].

Para considerar el efecto de las distintas severidades de los choques viales, se utilizaron factores de conversión, convirtiendo un choque con fallecidos a 40 con solo daños materiales, un choque con heridos graves a 12 con solo daños materiales y un choque con heridos leves a 3 con solo daños materiales [3].

Se utilizó el programa OpenBUGS para obtener los coeficientes de las funciones de desempeño a partir del muestreo de la distribución posterior con el método de cadenas de Markov Monte Carlo, resultantes de 100.000 iteraciones.

III. RESULTADOS

El modelo de exceso de frecuencia de choques esperados con ajuste de Bayes completo con choques equivalentes para el Tramo 1 presentó como variables representativas el TPD y la variable asociada a velocidades reglamentarias de 80 km/h y 90 km/h. En el caso específico del TPD se identificó un coeficiente elevado de 6,9, condición que evidencia una alta correlación de los choques viales con respecto al tránsito vehicular.

El Tramo 2 presentó como variable significativa adicional al TPD, la variable del IRI_{prom} con un coeficiente de 0,14. A pesar de que la magnitud del coeficiente del IRI podría considerarse pequeña, al evaluar el IRI_{prom} mínimo registrado en el tramo, de 1,69 m/km y máximo de 6,66 m/km, el aumento en la exposición al riesgo es de 100,53%, lo que evidencia el efecto del IRI_{prom} sobre la accidentabilidad.

Asociado al Tramo 3 resultaron significativos el TPD, la tasa de curvatura y la ZLD. De forma contraintuitiva el parámetro asociado a la curvatura de la vía, presentó un coeficiente de

-1,142 para la categoría de en un rango de 20 % a 52 % de curvatura, sección más sinuosa. Este comportamiento evidencia una reducción en el riesgo de 68,08 % con respecto a los tramos con curvatura de 0 %, interpretado como un efecto colateral de las bajas velocidades de operación y confort al conducir en tramos curvos, caso contrario a las altas velocidades de operación asociadas a tramos rectilíneos. La ZLD evidenció un aumento en el riesgo de hasta 98,54 % para el caso de mayor amplitud, en comparación de los casos en los que la ZLD es reducida. Esta condición se relacionó a un aumento en la velocidad de operación al presentarse márgenes amplias, típicas del tramo analizado, acompañadas de pendientes verticales bajas.

CONCLUSIONES

A partir de la inferencia Bayesiana, se logró evidenciar una alta correlación del TPD sobre la accidentabilidad, donde el Tramo 1 registró el mayor coeficiente con una magnitud de 6,9. Sin embargo, el Tramo 2 a pesar de presentar un coeficiente menor de 2,528, registra una variación de 2106,97% en la exposición al riesgo al comparar los choques/km para el TPD máx y TPD mín.

También resultó significativa la variable de IRIProm, donde su variación creciente en el Tramo 2 generó un aumento del 100,53 % en la accidentabilidad, condición que se asoció a la reducción en el contacto de la rueda con la superficie de la vía resultante de la irregularidad superficial, lo que limita el control sobre el vehículo durante la maniobra de conducción.

Caso similar se presentó para el parámetro ZLD en el Tramo 3, donde las zonas de mayor amplitud se identificaron con un 98,54% adicional de riesgo con respecto a las ZLD reducidas. Este efecto se relacionó como un resultado de la tendencia a conducir a altas velocidades de operación en sitios con geometría amplia y acompañadas mayoritariamente de alineamientos rectilíneos, condición predominante en el tramo.

Para reforzar el supuesto asociado a la ZLD, resultó significativa la variable relacionada a la tasa de curvatura, con una exposición al riesgo superior en 68,08 % en el tramo recto, sobre el tramo más sinuoso, condición que refuerza el efecto de la geometría sobre la velocidad de operación y la accidentabilidad.

Estos resultados permitieron identificar y cuantificar los efectos de las deficiencias del uso de suelo, deficiencias geométricas y estado de la estructura de pavimento, así como evidenciar el potencial de los sistemas de inventario móvil para la recolección de información en el país y generar modelos robustos.

REFERENCIAS

- [1] J. Agüero-Valverde, “Determinación de rutas con potencial de mejora utilizando funciones de desempeño de seguridad vial: caso de Costa Rica”, *Revista Infraestructura Vial*, Vol. 18, No. 32, pg. 39-52, dic. 2016.

- [2] J. Agüero-Valverde, B. Lan and G. Lovegrove, “*Bayesian Statistics in Transport*”, unpublished.
- [3] R. Peniche, “¿Cuánto cuestan los accidentes de tránsito?”, Seguridad Vial, Análisis de Costos. Disponible:<http://94.23.80.242/~aec/ivia/Cu%C3%A1nto%20cuestan%20los%20accidentes%20de%20tr%C3%A1nsito.%20Por%20el%20Ing.%20Ra%C3%BAl%20Alberto%20Peniche%20Mendoza.pdf>

Análisis de modos de falla, efectos y criticidad a un aerogenerador doblemente alimentado

Failure modes, effects and criticality analysis for a doubly fed wind turbine

Andrey Solano Artavia
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: andrey.solano@ucr.ac.cr

Brandon Cruz Jiménez
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: brandon.cruz@ucr.ac.cr

Cristian Ramos Fernández
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: cristian.ramosfernandez@ucr.ac.cr

Kevin Solís Guzmán
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: kevin.solisguzman@ucr.ac.cr

Oscar Núñez Mata
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: oscar.nunezmata@ucr.ac.cr

Aramis Pérez Mora
Estudiante, Universidad de Costa Rica
e-mail: aramis.perez@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Aerogenerador, criticidad, FMECA, modo de falla, prevención de fallas.

I. INTRODUCCIÓN

La fiabilidad de los aerogeneradores es una consideración esencial en un entorno tan competitivo como la generación de energía, por ello la optimización del mantenimiento se vuelve indispensable para aumentar la disponibilidad de los aerogeneradores, pues, debido a las condiciones de operación y del entorno, sus componentes están sujetos a fallas, y precisamente, la implementación de sistemas para la detección y análisis de fallas tienen el objetivo de evitar daños importantes en los componentes del sistema y facilitar el desarrollo de estrategias de reparación y

mantenimiento. De esta forma se pueden evitar fallas prematuras, catastróficas y la propagación de fallas menores en el sistema. Esto permite obtener reducción de costos de mantenimiento, además de proporcionar información al operador para mejorar la eficiencia operativa [1], [2]. Por ello, es necesario realizar análisis que permitan jerarquizar los elementos en función de su impacto en el proceso de conversión de energía, y así dirigir el esfuerzo y los recursos a las áreas donde la fiabilidad del aerogenerador presente mayor riesgo.

II. METODOLOGÍA FMECA

El análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA, por sus siglas en inglés) es una metodología que tiene como objetivo principal la identificación de los modos de falla que representan un mayor riesgo para el sistema analizado, mediante la evaluación de escenarios adversos en el proceso e identificando los elementos más críticos, con el fin de tomar acciones que minimicen estos eventos. El sistema o proceso bajo estudio, se descompone en sus partes constituyentes y se estudian los modos de falla que pueden ocurrir en cada uno de ellos para determinar sus posibles efectos. Por esta razón, se asignan índices de criticidad, ocurrencia y detección a los modos de falla identificados, para calcular el índice de prioridad de riesgo (IPR). Índice que define cuál modo de falla representa mayor riesgo [3].

El FMECA se complementa con un análisis de costos que incorpora el costo asociado a cada modo de falla, mediante el Número de Prioridad de Costo (CPN), para el cual se debe conocer la duración de la falla en horas (D_F), costo total de la falla (C_F), costo de servicio (C_S), costo de mano de obra (C_L), costo de oportunidad (C_O) y el costo de las piezas que se reemplazan (C_p) [4]. Al estudiar el CPN junto al IPR para cada modo de falla, se tiene mayor detalle de los elementos más críticos del sistema asociado, así como los costos económicos de falla que se pueden presentar, resultando en una puesta en marcha o un aumento de la producción en un menor tiempo que el esperado previo al análisis.

III. ANÁLISIS DE FALLAS EN EL AEROGENERADOR

Este trabajo, aplica la metodología FMECA a un aerogenerador doblemente alimentado con el fin de determinar cuáles son los elementos más críticos para el correcto funcionamiento del aerogenerador, para ello se realizan dos tipos de análisis, uno cualitativo y otro cuantitativo. En el cualitativo, se detallan los componentes que se analizarán, sus funciones, sus principales fallas y sus implicaciones en el sistema, para identificar todos los posibles modos de falla y las posibles causas por las que se puede presentar. En esta propuesta se estudiaron 12 elementos, en los cuales se determinan 24 posibles modos de falla que pueden ocurrir por 61 causas determinadas. Para el análisis cuantitativo, se asignan los índices numéricos para la ocurrencia, severidad y detección de falla en cada elemento del aerogenerador, respaldado en datos reales sobre frecuencia de fallas y horas en baja del sistema, como se muestra en la Fig. 1. Al determinar el IPR se

utiliza una regla de categorización de riesgos y posteriormente se hace una jerarquización de los mismos. La Tabla I muestra algunos de los elementos en los cuales se debe centrar la atención y prevención de fallas.

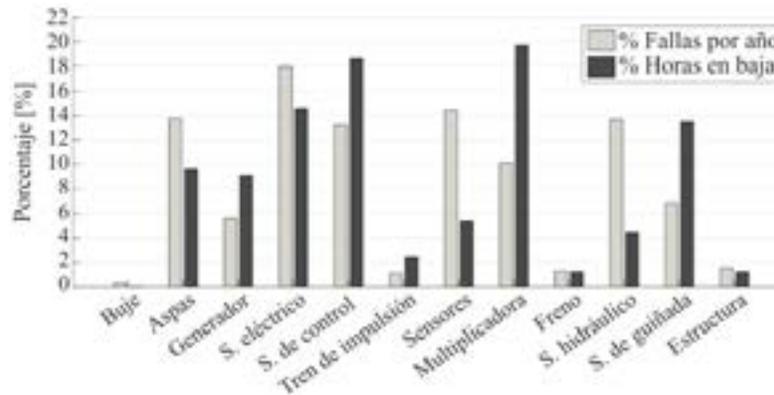


Fig. 1. Porcentajes de fallas y horas en baja del aerogenerador según elemento. Datos tomados de [5].

Al realizar el análisis, se obtiene el CPN para cada elemento, donde se obtiene que los elementos más críticos son el generador, el tren de impulsión y el sistema eléctrico, como se muestra en la Tabla II. El CPN aplica para una única falla en cada subsistema, por lo cual, no contempla la repetitividad de fallas en un periodo anual. Por eso, se complementa con el Costo Total de Falla (TFC), el cual determina el costo final debido a todas las ocurrencias anuales en un mismo elemento, por ejemplo, para el generador el CPN es de \$13055,09 y al año el TFC de ese elemento corresponde a \$172063,34, de ahí la necesidad de priorizar de mayor a menor costo los elementos y proyectar a futuro las inversiones necesarias para anticipar la logística relacionada a la reparación o mantenimiento de cada subsistema.

Tabla 1. Jerarquización de riesgo de los elementos del aerogenerador.

Falla	IPR	Riesgo	Falla	IPR	Riesgo
<i>Sistema de control</i>	560	Crítico	<i>Aspas</i>	160	Alto
<i>Multiplicadora</i>	420	Crítico	<i>Generador</i>	80	Moderado
<i>Sistema eléctrico</i>	320	Muy alto	<i>Tren de impulsión</i>	14	Bajo

En conclusión, un componente con índice de ocurrencia alto no quiere decir que sea el más severo, pues la accesibilidad, las formas de corregir el problema, los costos del equipo y el transporte hacen que estos dos no tengan gran dependencia el uno del otro. Por ello, la jerarquización del riesgo basado en los IPR y en los CPN es la forma completa para determinar qué tan crítico es un componente y qué tan rápido atender la falla, para invertir en subsistemas con alta criticidad, que permita potenciar la fiabilidad del parque eólico, facilitando la toma de decisiones.

Tabla II. Cálculo de costos de falla más significativos.

Subsistema	D_f [horas]	C_p [\$]	C_s [\$]	C_L [\$]	C_o [\$]	C_F [\$]	C_S [\$]
Generador	180	61014	29325	180	3529,25	94048,25	13035,09
Tren de impulsión	120	9827	14700	120	2352,83	26999,83	4373,97
Sistema eléctrico	100	11319	1000	6000	1960,70	20279,70	2798,60

Datos tomados de [5].

REFERENCIAS

- [1] H. Arabian-Hoseynabadi, H. Oraee, and P.J. Tavner. Failure modes and effects analysis (fmea) for wind turbines. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 32(7):817 – 824, 2010.
- [2] F.P. García; M. Papaalias, “An overview of wind turbine maintenance management”, *Non-Destructive Testing and Condition Monitoring Techniques for Renewable Energy Industrial Assets*, Ed. Boston, USA: Butterworth-Heinemann, 2020, capítulo 3, pp. 31-47.
- [3] A. Y. Aguilar y L. F. Tandazo, “Análisis de modos de falla efectos y criticidad del sistema de inyección de un motor de encendido provocado corsa evolution 1.4 L empleando herramientas de aprendizaje y clasificación para la programación de mantenimiento”, Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2017.
- [4] S. Kahrobaee y S. Asgarpoor, “Risk-based Failure Mode and Effect Analysis for wind turbines (RB-FMEA)”, 2011 *North American Power Symposium*, Boston, MA, 2011, pp. 1-7, Agosto, 2011.
- [5] J. Ribrant y L. M. Bertling, “Survey of Failures in Wind Power Systems with Focus on Swedish Wind Power Plants During 1997-2005”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 1, pp. 167-173, Marzo, 2007.

Monitoreo de condición del sistema de aislamiento de motores eléctricos mediante índice de salud

Monitoring condition of the electric motor insulation system through a health index

Alonso Herrera Bolaños

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
e-mail: alonso.herrerabolanos@ucr.ac.cr*

Oscar Núñez Mata

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
e-mail: oscar.nunezmata@ucr.ac.cr*

Steven Gutiérrez Vargas

*Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
e-mail: steven.gutierrezvargas@ucr.ac.cr*

Palabras clave:

Diagnóstico, motor, monitoreo condición, pronóstico, prueba aislamiento.

I. INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, la economía ha experimentado un avance creciente por medio de las múltiples actividades industriales, haciendo necesario e imprescindible el funcionamiento constante de las empresas que aportan a tal tendencia. Bajo tal requerimiento, resulta clave mantener en adecuadas condiciones las líneas de producción que incluyen distintos equipos, entre los cuales destacan los motores eléctricos. Se estima que el 60-70% del consumo de la energía eléctrica se debe a equipos electromotrices, acoplados por medio de motores eléctricos [1]. Es decir, los motores son componentes fundamentales en la operación de la industria. Por tal motivo, los responsables de su correcto funcionamiento, requieren de herramientas que aporten al seguimiento de su condición, y al conocimiento de la formación defectos, para, finalmente, guiar la toma de decisión.

II. MONITOREO DE CONDICIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

Dado que el mayor porcentaje de incidencia de fallas en los motores eléctricos (41%) tiene como modo de falla los defectos de tipo eléctrico [2], diversos autores proponen métodos

de monitoreo de condición que buscan una caracterización acertada de la condición de estas máquinas, en cuanto a términos eléctricos se refiere. En este sentido, algunos estudios se enfocan en analizar el sistema eléctrico de los motores, sin tomar en cuenta el sistema de aislamiento de los devanados, siendo este último una importante fuente de indicios para la determinación de la salud de la máquina. Es por ello que, con la ayuda de métodos matemáticos de aproximación, se propone una herramienta de medición de la condición de dicho sistema dieléctrico, por medio de un índice de salud, que diagnostique su condición. El objetivo es aportar al conocimiento de la degradación de los aislantes, y entregar información para la anticipación de un probable fallo. Además, se espera evitar operaciones bajo condiciones anormales (sin llegar a falla funcional), y evitar aumentos de temperatura (10 °C de aumento de temperatura, se traducirá en una reducción de la vida útil del sistema de aislamiento del motor en un 50% [3]).

III. PROPUESTA METODOLÓGICA

La metodología propuesta para la obtención exitosa de un índice de salud dieléctrico del motor se resume en las figuras 1 y 2. Es una metodología basada en conocimiento experto.



Fig. 1. Metodología para la construcción del índice de salud dieléctrico.



Fig. 2. Funcionamiento del algoritmo programado.

Se implementó un código intuitivo para el ingreso de los datos, para que el usuario lo aplique de manera sencilla. Durante la ejecución del mismo, el programa solicita lo siguiente: la categoría del motor según la tensión de alimentación, las pruebas aplicadas, el tipo de función de normalización que se utilizará. A partir de la información anterior, el algoritmo realiza el cálculo del índice de salud.

IV. CASO DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El caso de estudio corresponde a un motor de inducción trifásico de 300 HP, 3670 RPM, 460V.



Fig. 3. Condición inicial del motor en estudio.



Fig. 4. Condición post reparación/rebobinado.

Las figuras 3 y 4 muestran las condiciones del motor. Y las figuras 5, 6, 7 y 8 presentan los resultados de las pruebas ejecutadas, y el cálculo del índice de salud, antes y después de intervenir el motor.

Durante la inspección inicial del motor, se evidenció la presencia de agentes contaminantes y un daño que provocó la deformación del bobinado. Lo anterior se refleja en los resultados de las pruebas iniciales, donde algunos no alcanzan los mínimos permisibles por los estándares internacionales. Estos resultados se incluyen en el programa de cálculo, y el índice de salud concluye que la condición inicial es: *MUY MALA*. La acción correctiva para este caso es rebobinar el estator. Finalizada la reparación, se somete el motor a pruebas de salida, de las cuales se obtienen resultados favorables, y el índice de salud indica que la condición final fue: *EXCELENTE*. Se realizaron diversas pruebas

en una cantidad de motores, demostrando la efectividad en el diagnóstico de todos los motores evaluados.

Prueba realizada	Valor obtenido
Resistencia de aislamiento(40°C)	51 MΩ
Razón de absorción dieléctrica	-
Índice de polarización	1.3
Comparación de Impulsos (Surge)	EAR
	L1-L2= 10%
	L2-L3= 12%
	L1-L3= 20%
Descarga dieléctrica	N/A

Fig. 5. Resultados de pruebas eléctricas estáticas iniciales.

Prueba realizada	Valor obtenido
Resistencia de aislamiento(40°C)	8005 MΩ
Razón de absorción dieléctrica	-
Índice de polarización	2.6
Comparación de Impulsos (Surge)	EAR
	L1-L2= 2%
	L2-L3= 1%
	L1-L3= 1%
Descarga dieléctrica	N/A

Fig. 6. Resultados de pruebas eléctricas estáticas finales.

Pruebas no realizadas	Peso de la prueba	Condición: MUY MALA	
Descarga dieléctrica	0.13159		
Suma(+)	0.13159		
Valor a repartir	0.04386		
Pruebas realizadas	Medición normalizada	Pesos parciales	Peso Finales
Resistencia de aislamiento (RA)	0.42411	0.13781	0.15206
Índice de polarización (IP)	0.34821	0	0
Prueba de comparación de impulsos (Surge)	0.03662	0	0
Diagnóstico			
Suma(+)	0.152068	Diagnóstico Final:	15.2068%

Fig. 7. Diagnóstico inicial del índice de salud.

Pruebas no realizadas	Peso de la prueba	Condición: EXCELENTE	
Descarga dieléctrica	0.13159		
Suma(+)	0.13159		
Valor a repartir	0.04386		
Pruebas realizadas	Medición normalizada	Pesos parciales	Peso Finales
Resistencia de aislamiento (RA)	0.4241	0.42418	0.46894
Índice de polarización (IP)	0.3482	0.36974	0.39870
Prueba de comparación de impulsos (Surge)	0.0366	0.03651	0.06973
Diagnóstico			
Suma(+)	0.93648	Diagnóstico Final:	93.6485%

Fig. 8. Diagnóstico final del índice de salud.

CONCLUSIONES

Los motores eléctricos cumplen una función fundamental en los múltiples procesos que el sector de producción industrial requiere. Es por ello que se trabajó de manera exitosa en la propuesta y desarrollo de un índice de salud dieléctrico, que aporte al diagnóstico del sistema de aislamiento del motor. El objetivo fue entregar a los encargados de su operación, una herramienta que facilite la comprensión del estado del sistema de aislamiento, y que esto apoye la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- [1] R. García Gutiérrez. “*Eficiencia energética*”. cnfl.go.cr. https://www.cnfl.go.cr/images/eficiencia/respira_e_inspira/conceptos-basicos.pdf (Accesado en Set. 9, 2020).
- [2] R. González del Castillo., “*Diagnóstico de motores de gran capacidad en sitio*”, Boletín IIE 2015 [en línea]. Disponible en: <https://www.ineel.mx//boletin012015/breve02.pdf> (Accesado en Set. 9, 2020).
- [3] G. Enríquez Harper. *Manual de electricidad industrial II: Reparación de motores eléctricos*. Editorial LIMUSA, segunda edición. Grupo Noriega Editores, México D.F, 2012.

Tema X
Materiales comunes y
bioinspirados: carecterísticas,
calidad, aplicaciones

Densificación de polímeros para funcionar como agregados en materiales de construcción

Densification of polymers to function as aggregates in building materials

María Fernanda Abarca Jiménez
Estudiante, Ingeniería Mecánica, asistente LANAMME
e-mail: fernanda.abarca@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Densificación, extrusora, materiales de construcción, materiales de desecho, polímeros.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los polímeros se han vuelto materiales polifuncionales en la industria. Su apogeo en los últimos siglos ha sido tan grande que forman parte del día a día de las personas, convirtiéndose en un problema cuando son descartados. Según evidencia Grajales [3] y se refleja en el gráfico de la figura 1, en Costa Rica solo el 9% de los desechos se recicla, el 11% va a botaderos y el 80% va al mar. El desafío es cómo reutilizar las grandes cantidades de desperdicios que terminan contaminando el planeta para evitar que sigan causando consecuencias irreparables.

A partir de los primeros polímeros, en la ingeniería se han ido inventando nuevos polímeros para su utilización en tareas específicas. Ahora con la problemática mencionada anteriormente, la propuesta esta en el aprovechamiento de estos plásticos de desecho, con el objetivo de buscar que cumplan con las funciones para las que se diseñen y a la vez, amortiguar su efecto en el medio ambiente.

En la industria de la construcción, los polímeros se han utilizado para formar materiales compuestos que han facilitado la elaboración de formas complejas [1]. Como lo menciona el autor Miravete [1], “para aplicaciones civiles/estructurales, en las que tanto la resistencia como la rigidez del material son críticas, es necesario combinar el polímero con otros materiales para obtener materiales compuestos”, lo anterior para conseguir materiales con propiedades optimizadas con respecto a las de sus constituyentes.

II METODOLOGÍA

Razón por lo cual, la presente propuesta de investigación pretende realizar un estudio de la densificación de estos materiales para su posterior incorporación en materiales de construcción.

Ampliando el rango de materiales con los cuales se puedan reforzar o modificar materiales para la industria civil.

Para esto, se diseñó una extrusora (Ver fig 2) para uso en laboratorio capaz de regular su velocidad y temperatura, lo cual permite trabajar con una amplia variedad de polímeros. Este equipo se utilizará para el proceso de densificación de diferentes materiales de desecho de baja densidad. Uno de sus usos de diseño es obtener un tamaño granulométrico adecuado de los plásticos para su uso en obras de infraestructura con el fin de sustituir los agregados típicamente utilizados en los materiales de construcción.



Fig. 2. Extrusora para uso en laboratorio.

Pretendiendo llevar ese material a un tamaño de partícula similar al de los agregados más pequeños utilizados en el diseño de los materiales de construcción, con el fin de sustituirlos. Lo anterior implica un aporte a lo que variedad y opciones de materiales para uso civil se trata y, una alternativa a los problemas de contaminación que aquejan nuestro planeta.

El estudio de la densificación de los polímeros de desecho se realizará en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, bajo la supervisión del Ingeniero Rafael Ernesto Villegas.

REFERENCIAS

- [1] A. Miravete, “*Los nuevos materiales en la construcción*” Reverté, Loreto, Barcelona, España, 1995.

Asfaltos modificados en almacenamiento: Un estudio de su comportamiento a condiciones críticas

Modified asphalts in storage: A study of their behavior under critical conditions

María Fernanda Abarca Jiménez
Estudiante, Ingeniería Mecánica, asistente LANAMME
e-mail: fernanda.abarca@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Almacenamiento, asfalto modificado, polímeros, separación de fases, tanque.

I. INTRODUCCIÓN

Un proyecto que implique la utilización de asfaltos modificados se ve afectado por diversos factores, según los cuales se definirá su calidad final y vida útil. Un asfalto modificado de mala calidad influye directamente en la composición de la mezcla asfáltica, la cual se puede ver perjudicada entre su proceso de producción y su utilización. Según Fu et al. [2], durante los lapsos en los que se almacenan los asfaltos modificados con algún contenido de polímeros a altas temperaturas, estos tienden a separarse en fases. Por lo anterior es que resulta importante pensar en el tiempo y las condiciones a las cuales se almacenará el material, buscando siempre mantener las propiedades que el mismo posee inicialmente.

El asfalto es un material que según la temperatura puede presentar diferentes comportamientos y, su complejidad aumenta si además se añaden polímeros. La diferencia de densidades de ambos materiales trae la posibilidad de que se puedan “producir en los ligantes modificados, fenómenos de sedimentación o separación de fases, enriqueciéndose el ligante en polímeros en la parte inferior o superior del tanque”, esto según sus respectivas densidades [1].

La presente propuesta pretende estudiar el comportamiento de asfaltos modificados, durante su almacenamiento. Lo anterior con el fin de determinar si en el tiempo presupuestado de almacenamiento no se ve comprometida la calidad del producto. Este diseño tiene la finalidad de obtener, para condiciones críticas, el máximo periodo de tiempo que debería almacenarse el asfalto modificado para evitar que una posible separación del polímero afecte sus propiedades finales.

II. METODOLOGÍA

Estableciendo en el proceso un método para la determinación del tiempo máximo de almacenamiento de asfaltos modificados, el cual garantice que la calidad del diseño original se

mantenga aun después de almacenado. Producto de lo anterior aportar en el control de calidad del proceso en planta.

La consideración de realizar el estudio a condiciones extremas de almacenamiento viene de lo que señala [5], es decir, que para “tener la certeza del tiempo máximo de almacenamiento del modificado, es imprescindible dotar al material de las condiciones más extremas de almacenamiento a las que será expuesto”. Por lo que la perspectiva, a diferencia de la que tendrá el, cambia a buscar propiciar que el polímero flocule o se sedimente.

Para esta propuesta se incluye la realización de tanques de almacenamiento con proporciones basadas en las encontradas en los tanques comerciales, dimensionados a una escala apta para su uso en laboratorio, dando principal atención a la relación altura/diámetro. El diseño se centra en la relación anterior debido a la caracterización que se ha dado a los tanques basado en esta, como se puede evidenciar en [3] y [4].

Por esto se diseñó un tanque delgado con válvulas tipo italianas, útiles para facilitar la toma de muestras (Ver fig 1). Diseñado con materiales óptimos para su introducción al horno a temperaturas cercanas a los 150 °C y con componentes de fácil obtención en el mercado nacional. Su estructura delgada de base pequeña, fue pensada para obtener espesores más gruesos de capa que evidencien las diferencias en las concentraciones de una manera más marcada.

Un asfalto modificado de mala calidad repercute directamente en una disminución drástica de la vida útil de la carretera, lo cual impacta enormemente la economía del país. Esto se evidencia en el desperdicio de miles de millones de colones en infraestructura y, por otro lado, en la disminución en la competitividad del país y el fuerte impacto en la industria del turismo. Se busca establecer en el proceso de investigación, un método para la determinación del tiempo máximo de almacenamiento de asfaltos modificados, el cual garantice que la calidad del diseño original se mantenga aun después de almacenado. Producto de lo anterior este diseño busca aportar en los diseños de laboratorio y en el control de calidad del proceso en planta.



Fig. 1. Tanque de almacenamiento de asfaltos modificados para uso en laboratorio.

Se define también la elaboración de tres tanques para recolectar muestras en tres distintos lapsos de tiempo. A partir de las muestras tomadas, se propone realizar un estudio de la cinética del material durante su almacenamiento. Para lo cual se estudiará la variación con respecto a las propiedades reológicas, comparando las diferencias en cuanto a la consistencia del material en esos lapsos de tiempo de almacenamiento. Para cada tanque se tomará una muestra por nivel (tope, mitad, fondo), con el fin de evaluar bajo las condiciones más críticas posibles las diferencias en las propiedades reológicas de los tres niveles del tanque con el objetivo de detectar si hubo o no separación del polímero y, verificar si este sedimenta o floclula.

Los estudios anteriores se realizarán en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, bajo la supervisión del Ingeniero Rafael Ernesto Villegas.

REFERENCIAS

- [1] R. Angulo and J. Duarte, "Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos," Thesis, Industrial University of Santander, Bucaramanga, Colombia, 2005.
- [2] H. Fu, L. Xie, D. Dou, L. Li, M. Yu and S. Yao, "Storage stability and compatibility of asphalt binder modified by SBS graft copolymer. Construction and Building Materials," *Construction and Building Materials*., vol. 21, no. 7, pp. 1528-1533, July 2007, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.03.008.
- [3] M. Shatla and M. El Hady, "Storage Tanks-Selection of Type, Design Code and Tank Sizing," *TESCE*., vol. 30, no. 2, pp. 201-225, December 2007.
- [4] J.M. Spritzer and S. Guzey, "Nonlinear numerical evaluation of large open-top aboveground steel welded liquid storage tanks excited by seismic loads," *Thin-Walled Structures*., vol. 119, pp. 662-676, October 2017, doi: 10.1016/j.tws.2017.07.017
- [5] R.E. Villegas-Villegas, E. Rodríguez-Castro, J.P. Aguiar-Moya, L.G. Loría-Salazar, J. Salazar-Delgado and A. Navas-Carro, "Estabilidad al almacenamiento de asfaltos modificados en función del cambio en sus propiedades reológicas y su distribución de partículas según la microscopía de fuerza atómica," LANAMMEUCR, 2013.

Obtención de nanocelulosa funcionalizada, como método de adsorción de cromo

Jairo Vargas Mesén
Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

Karina Rodríguez Mora
Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica
Unidad de Recursos Forestales. Instituto de Investigaciones en Ingeniería.
Universidad de Costa Rica
e-mail: karina.rodriguezmora@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Biomasa, metales pesados, funcionalización, cromo.

I. INTRODUCCIÓN

Las nanocelulosa se han convertido en un bioproducto atractivo para la comunidad científica debido a que es un polímero natural abundante y posee propiedades de resistencia, adsorción y reactividad que permiten su desarrollo en amplias áreas de estudio. Por su parte, la piña y la palma africana son dos de los principales cinco cultivos en lo que a extensión de siembra respecta, en Costa Rica. El aumento de dichos cultivos en los últimos años ha generado que aumenten consigo las toneladas anuales de biomasa rica en material lignocelulósico, las cuales son material orgánico con el potencial de pasar de ser un desecho, a convertirse en un material de alta tecnología que permita la adsorción de los metales pesados generados por el sector industrial.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se recolectó la biomasa de diferentes zonas del país, como Heredia y Puntarenas. Por otra parte, se utilizaron aguas residuales del proceso de curtido de cuero para realizar las pruebas de adsorción, dichas aguas fueron obtenidas en Valverde Vega, Alajuela. La biomasa recolectada se sometió a un proceso de secado en un horno por convección forzada durante aproximadamente 6 horas, tiempo en el que se logró obtener masa constante. Una vez seca la biomasa, se disminuyó el tamaño de la misma con ayuda de un molino y una malla de 0,5 mm. La obtención de las fibras de celulosa se efectúa mediante la degradación básica por el método de explosión, luego se realiza una etapa de blanqueamiento, en donde se lavan las fibras de celulosa con hipoclorito de sodio comercial. Para la obtención de fibras de celulosa de tamaño nanométrico, se tomaron las fibras de celulosa obtenidas a partir de la degradación básica y se dispersaron en agua aproximadamente al 2,5\% (m/v) y se sometieron a ruptura en un ultrasónico de alta potencia,

a una frecuencia de 60 Hz y un período de 15 minutos. Para la funcionalización, las nanofibras de celulosa obtenidas se someten a agitación por 4h con ácido cítrico disuelto en metanol, luego se deja reposando por un periodo de 24 horas. Posteriormente se centrifuga la muestra de nanocelulosa y se realizan lavados con metanol para eliminar los restos de ácido cítrico y se suspende la nanocelulosa en agua. Finalmente se utilizaron las nanocelulosas procesadas en la realización de curvas de adsorción de cromo. Las nanocelulosas obtenidas se caracterizaron por microscopía electrónica de transmisión y de barrido. Los porcentajes de funcionalización obtenidos rondan los 4% y 12%, los cuales se obtuvieron mediante análisis termogravimétrico de las nanocelulosas antes y después de la funcionalización. Además, se logran obtener curvas de adsorción del cromo, en donde se obtienen cargas de adsorción de hasta 8,5 mg/g.

III. RESULTADOS

Finalmente se utilizaron las nanocelulosas procesadas en la realización de curvas de adsorción de cromo. Las nanocelulosas obtenidas se caracterizaron por microscopía electrónica de transmisión y de barrido. Los porcentajes de funcionalización obtenidos rondan los 4% y 12%, los cuales se obtuvieron mediante análisis termogravimétrico de las nanocelulosas antes y después de la funcionalización. Además, se logran obtener curvas de adsorción del cromo, en donde se obtienen cargas de adsorción de hasta 8,5 mg/g.

Por lo anterior se comprueba la efectividad del uso de las nanofibras de celulosa sin funcionalizar y funcionalizada con ácido cítrico, como método de adsorción de cromo. Además, se logró observar que la funcionalización obtenida no afecta las propiedades de suspensión de la nanocelulosa. Lo anterior, permitió la implementación de un sistema de adsorción en donde se aprovechó dichas propiedades de suspensión de la nanocelulosa y se evitó así la implementación de sistemas de agitación.

Evaluación de Pavimentos Verdes a Escala Natural

Full Scale Testing on “Green Pavements”

PhD. José Pablo Aguiar Moya
Investigador UIIT - Lanamme, Universidad de Costa Rica
Prof. Adjunto Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
e-mail: jose.aguiar@ucr.ac.cr

MBA. Fabián Elizondo Arrieta
Investigador UIIT - Lanamme, Universidad de Costa Rica
e-mail: fabian.elizondo@ucr.ac.cr

MSc. Ana Luisa Elizondo Salas
Coordinador General PITRA - Lanamme, Universidad de Costa Rica
e-mail: ana.elizondosalas@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Ensayos Acelerados, Pavimentos Verdes, Materiales de desecho, Monitoreo de pavimentos.

I. RESUMEN

La contaminación por plástico se ha convertido es uno de los problemas ambientales de mayor importancia a nivel nacional, ya que el rápido incremento en la producción de plásticos desechables sobrepasa la habilidad del planeta para procesarlos. Solo en Costa Rica se producen alrededor de 600 millones de botellas de plástico desechable al año, de las cuales menos del 10% son recolectadas. El restante termina acumulado en cuencas hidrográficas, costas y ambientes marinos, que perjudican los hábitats terrestres y marinos, por ende, a los costarricenses [1].

Para atender dicha problemática, se ha planteado la posibilidad de incorporar los plásticos de desecho en la construcción de las carreteras: específicamente se busca la incorporación de este material después de un proceso de molienda, en la mezcla asfáltica utilizada como capa de ruedo en las carreteras nacionales.

La solución inició con una etapa de evaluación a nivel de laboratorio, donde se ha demostrado el gran potencial que tiene la utilización de plástico reciclado en el pavimento por una sencilla razón: la afinidad que tiene el plástico con el asfalto pues ambos vienen de un mismo material fuente - el petróleo. En esta etapa se diseñaron las combinaciones idóneas del plástico y el asfalto para optimizar el comportamiento del material [2,3,4,5].

Para el proyecto actual se inició con la evaluación del pavimento con plástico reciclado en tramos de prueba a escala real mediante el uso de un equipo de simulación de vehículos pesados

(HVS por sus siglas en inglés). Este equipo permite aplicar las cargas de tráfico que va a recibir una carretera durante su vida útil de forma acelerada, en un plazo de pocas semanas o meses. Con estos resultados se podrán desarrollar los modelos de deterioro que permitirán diseñar carreteras con este tipo de material de desecho pues se monitoreará la estructura durante toda su vida útil.

La construcción de los tramos de pavimento se realizó en el 2019 y permitió verificar inicialmente la adecuada trabajabilidad de la mezcla asfáltica con plástico, reforzando la factibilidad de producir este tipo de material en planta. La configuración de los tramos de prueba experimentales en el laboratorio es la indicada en la Fig. 1. Adicionalmente se han realizado ensayos de laboratorio para evaluar la posibilidad de que se generen emisiones nocivas producto del plástico durante la producción de la mezcla asfáltica. Con base en los ensayos realizados, se ha demostrado que esto no es el caso.

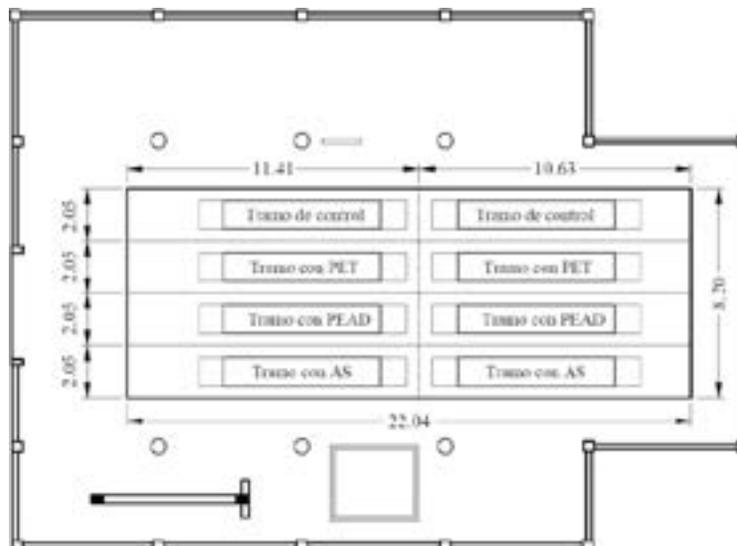


Fig. 1. Vista en planta del espacio donde se encuentran localizados los tramos (cotas en metros) y ubicación de tramos.

La estructura colocada en el laboratorio está conformada por 10 cm de mezcla asfáltica, 20 cm de base granular y 30 cm de subbase sobre el suelo de la zona. En la Fig. 2 se muestra el acabado final de los tramos experimentales construidos.

Previo al inicio de evaluación de los pavimentos con plástico reciclado se realizó un análisis de capacidad mediante deflectometría de impacto (FWD por sus siglas en inglés) y la caracterización de las mezclas asfálticas modificadas con plástico reciclado en el laboratorio mediante ensayos de desempeño (resistencia a fatiga, deformación y daño por humedad). De manera preliminar se ha observado un incremento en la capacidad de los pavimentos que incluyen el material de desecho, o que los mismos se comportan de forma equivalente a la mezcla de control. Actualmente se continúa con la fase de evaluación con el HVS.



Fig. 2. Construcción de tramos experimentales y evaluación inicial de capacidad estructural.

En la siguiente etapa se pretende implementar esta tecnología de pavimento con plástico reciclado en tramos de carretera municipales en distintas partes del país. Esto mediante un modelo de participación de la comunidad para lo cual se promoverán campañas de separación y recolección por parte de las personas de las vecindades. Estos plásticos que son recolectados se llevarán a centros de acopio municipales y posteriormente se molerán hasta tener el tamaño adecuado para su incorporación en la mezcla asfáltica.

Los tramos de carreteras construidos en sitio se evaluarán durante toda su vida útil mediante ensayos de campo que permitan validar todo lo observado previamente en el laboratorio y con ensayos a escala real. Este monitoreo facilitará la calibración final del producto esperado: un manual de diseño para carreteras con incorporación de plástico reciclaje.

Por último, al final del ciclo de vida de la carretera se buscará reutilizar el pavimento, generando una economía circular, donde no sólo se reutilizará el plástico reciclado que previamente se incorporó en la carretera, sino que existirá la posibilidad de continuar incorporando plástico u otros materiales de desecho adicionales.

REFERENCIAS

- [1] F. Llorca, E. Gutiérrez, y A. H. Shackelford, *Estrategia nacional para sustituir el consumo de plásticos de un solo uso por alternativas renovables y compostables 2017-2021*, Ministerio de Salud- Ministerio de Ambiente y Energía-PNUD, San José, Costa Rica. https://www.hacienda.go.cr/docs/5a0e066d-79dae_Estrategia-nacional-sustitucion-plasticos-un-solo-uso-.pdf (accesado en Octubre 1, 2019).
- [2] M. Monturiol. Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2019.
- [3] K. F. Gutiérrez, Comparación de métodos de incorporación de polietileno de baja densidad a una mezcla asfáltica, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2019.

- [4]. M. J. Corella, Evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica modificada con cloruro de polivinilo (PVC) según la tecnología Superpave, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2019.
- [5] N. A. Cajina, Diseño y evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con material de desecho, Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2020.

Evaluación del efecto del proceso de desmineralización de hueso bovino en la forma y composición de nanopartículas de hidroxiapatita producidas por electrosíntesis

Rayman Angulo Gutiérrez
Estudiante, Maestría en Ingeniería Química con énfasis en Procesos Industriales,
Universidad de Costa Rica
e-mail: rayman.angulo@ucr.ac.cr

Cindy Torres Quirós
Profesora, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

Mavis Montero Villalobos
Investigadora Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería
de Materiales (CICIMA), Universidad de Costa Ric

Palabras clave:

Hidroxiapatita, biomaterial, electrosíntesis, nanopartícula, hueso.

I. INTRODUCCIÓN

La hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) es uno de los biomateriales más estudiados en la comunidad científica debido a su biocompatibilidad y osteo-conducción. Este material es el principal componente inorgánico de los huesos de los mamíferos [1], por lo cual se emplea para varios fines biomédicos como lo son: recubrimiento de prótesis óseas, relleno óseo, sistemas de liberación controlada de fármacos, imagenología, como material odontológico [2] y para la elaboración de geles para cultivo celular [3]. Las materias primas para la producción de Hap pueden ser de origen sintético, a partir de sales de calcio y fosfato, o de origen natural, como por ejemplo cáscaras de huevo, huesos y en general materiales mineralizados de calcio y fosfato. La ventaja de producir hidroxiapatita de origen natural recae en el aprovechamiento de materiales de desecho, por lo cual estos procesos podrían convertirse en amigables con el ambiente una vez optimizados [4]. La síntesis de HAp para aplicaciones biomédicas, y en general para aquellos procesos en los cuales la interface y superficie son importantes, requiere de un control de la nano y micro estructura, con el objetivo de que brinde una buena respuesta química, física y/o biológica, pues los fenómenos de transporte de masa, energía y cantidad de movimiento dependen de esta variable, por lo cual resulta de importancia estudiar el efecto de las variables del proceso de producción de este biomaterial en el rendimiento, morfología y composición obtenida, en línea con las investigaciones realizadas en el tema.

II. METODOLOGÍA

En la Figura 1 se muestra un resumen de la metodología experimental, el cual es una adaptación del método de [4]. Primero se estableció una metodología de limpieza del hueso bovino previo al proceso de desmineralización, la cual permitiera que los procesos de electrosíntesis se llevaran a cabo de forma adecuada. Posteriormente se llevó a cabo la evaluación, por medio de un diseño factorial 2^3 , del efecto del tipo de hueso (cortical y costilla), tipo de filtración de las disoluciones (ultrafiltración y microfiltración), y nivel de densidad de corriente (175 mA/cm^2 y 200 mA/cm^2) en el rendimiento del proceso, determinado por análisis gravimétrico. La composición de las partículas se estudió por medio de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y su forma por medio de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). La matriz ósea desmineralizada se aisló de la solución por precipitación en baño de hielo y se estudió por medio de análisis termogravimétrico (TGA), calorimetría diferencial de barrido (DSC) y espectroscopia ultravioleta visible (UV-vis).

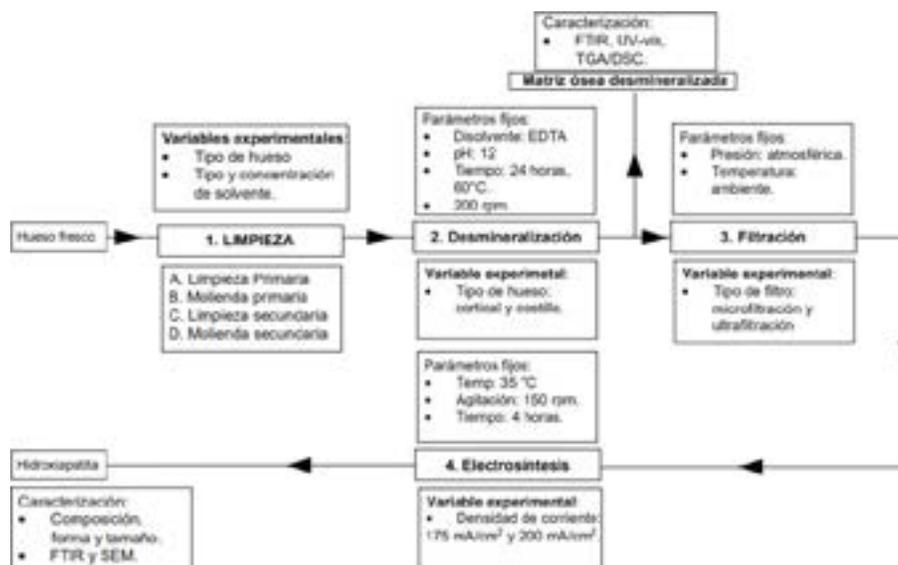


Fig. 1. Diagrama de flujo de proceso experimental empleado para el estudio del efecto del proceso de desmineralización de hueso bovino en la composición y morfología de hidroxiapatita producida por electrosíntesis.

III. RESULTADOS

Se concluye con un 95% de confianza que el tipo de filtración y las interacciones densidad de corriente- tipo de filtro y densidad de corriente-tipo de hueso, poseen efecto significativo en el rendimiento de la electrosíntesis. El mayor rendimiento (83.10%) se obtiene empleando el nivel bajo de densidad de corriente (175 mA/cm^2), con el hueso costilla y la ultrafiltración (Figura 2), sin embargo, se observa que la ultrafiltración podría alterar la fase del cristal obtenido, pues se detecta en el espectro infrarrojo las bandas de adsorción para carbonato de calcio (CaCO_3), específicamente calcita (Figura 3.a).

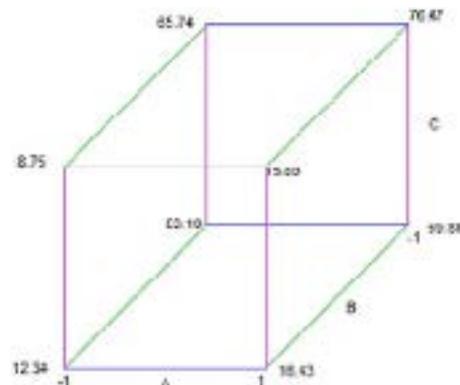


Fig. 2. Gráfico de interacción triple del diseño factorial 23 sobre el rendimiento ($\pm 3\%$) de electrosíntesis de hidroxiapatita, donde A: tipo de hueso, B: tipo de filtración y C: densidad de corriente.

Con respecto a la morfología de las partículas, en la Figura 3.b. se muestra la microscopía electrónica de barrido (SEM) de las partículas que se obtienen a partir de disoluciones microfiltradas en presencia de una mayor concentración de proteína, estas presentan forma esférica con tamaño medio de $(1.1 \pm 0.3) \mu\text{m}$ y están compuestas por clusters de subpartículas. El tamaño obtenido para dichos clusters fue de aproximadamente 173 nm. Se observa que la morfología es afectada por la presencia de sustancias que modifican la tensión superficial de la disolución, tales como antiespumantes, lo cual se puede deber al cambio en la termodinámica de nucleación y crecimiento de los cristales de hidroxiapatita.

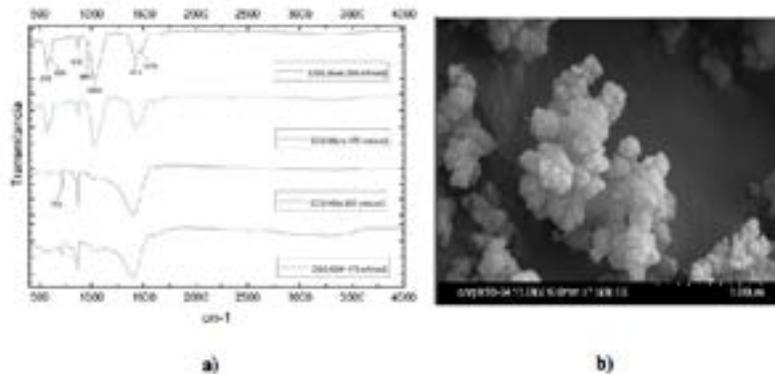


Fig. 3. a) FTIR para productos obtenidos de electrosíntesis para hueso costilla (COS). Micro: microfiltración y KDa: ultrafiltración y b) SEM de partícula de hidroxiapatita de hueso costilla obtenida por microfiltración.

La matriz ósea desmineralizada presenta un porcentaje de colágeno variable dependiendo de la concentración de NaOH, según el análisis UV-vis así como el TGA/DSC: a mayor pH se registra un menor porcentaje de proteína en la matriz. Se observó por medio de análisis TGA/DSC que se requiere desmineralizar a una concentración de NaOH de al menos 15% m/m para lograr hidrolizar el colágeno y recuperar la hidroxiapatita con un rendimiento cercano al 80%.

Se concluye que el nivel de filtración de las disoluciones de hueso puede ocasionar cambios en el rendimiento de la reacción de electrosíntesis y en la fase obtenida, por lo tanto, se recomienda estudiar el proceso de cristalización y su relación con la composición físico-química de la disolución de hueso bovino. Además, se propone como siguiente fase de investigación, la creación de una superficie de respuesta que incorpore el pH, la concentración de NaOH durante la desmineralización y la densidad de corriente, con el objetivo de optimizar el proceso, mientras que se recomienda microfiltrar y utilizar hueso cortical en lugar de costilla, según los resultados positivos para la producción de Hap obtenidos en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] H. Arce and M. L. Montero, "Use of complexing agents in hydroxyapatite synthesis," *Key Eng. Mater.*, vol. 396–398, pp. 293–296, 2009.
- [2] A. Szcześ, L. Hołysz, and E. Chibowski, "Synthesis of hydroxyapatite for biomedical applications," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 249, no. April, pp. 321–330, 2017.
- [3] A. Sánchez, J. González, A. García-Piñeres, and M. L. Montero, "Nano-hydroxyapatite colloid suspension coated on chemically modified porous silicon by cathodic bias: A suitable surface for cell culture," *Phys. Status Solidi Curr. Top. Solid State Phys.*, vol. 8, no. 6, pp. 1898–1902, 2011.
- [4] M. Cerdas, C. Torres, and M. Montero, "Caracterización del efecto del tratamiento térmico y electroquímico de la hidroxiapatita para aplicaciones médicas," Universidad de Costa Rica, 2008.

Mezcla asfáltica modificada con diferentes materiales de desecho

HMA Modified with Different Waste Materials

José P. Aguiar-Moya, PhD; Alejandra Baldi, MSc; Alvaro Cerdas-Murillo
Investigadores UIIT-PITRA, LanammeUCR
e-mail: alejandra.baldi@ucr.ac.cr

Palabras clave:

Materiales de desecho, mezclas asfálticas modificadas, pavimentos verdes, plástico, sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen esfuerzos significativos que se aplican para reutilizar materiales no-biodegradables, los cuales son de difícil reciclaje o disposición. En el caso de Costa Rica, que alberga el 5% de la biodiversidad mundial, se da un esfuerzo aún más grande para reducir el impacto de los materiales de desecho en el medio ambiente, tales como los plásticos. Tales acciones a su vez generan un impacto positivo en la industria del turismo, la cual es muy importante y representa una gran fuente de ingresos para el país. En este sentido, se han establecido regulaciones locales que promueven el uso de materiales de desecho en diferentes aplicaciones industriales y de construcción.

Como parte del esfuerzo nacional de buscar la reducción de residuos plásticos, se han realizado estudios que buscan analizar la factibilidad de incorporar diferentes tipos de polímeros (plásticos) como aditivos en la mezcla asfáltica, tal que esto influya positivamente la sostenibilidad de los materiales utilizados en la actualidad para la construcción de los pavimentos.

Por lo tanto, en el presente estudio, se implementó el uso de tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés), polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés), policloruro de vinilo (PVC, por sus siglas en inglés) y empaques tipo blíster recuperados de la industria farmacéutica. En la sección de materiales se indica las pruebas realizadas a estos polímeros para evaluar su potencial uso como parte de las mezclas asfálticas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El primer paso antes de la modificación de la mezcla asfáltica consiste en evaluar la resistencia térmica de los materiales de desecho. Para ello, se realizó análisis termogravimétrico a las muestras de PET [1], LDPE [2], PVC [3] y blíster [4], exponiéndolas a una rampa de temperatura de 40-1000°C. Se observó que los materiales son resistentes a las temperaturas evaluadas, por lo que

se descarta que experimenten descomposiciones químicas durante la producción y compactación de la mezcla.

Los residuos se adicionaron tanto por el método húmedo (modificación del asfalto) como por el seco (mezclado con el agregado, como una fracción de tamaño específico). Las dosificaciones de cada material, el método de adición y las propiedades volumétricas de cada mezcla resultante se muestran en la Tabla I.

En la etapa de evaluación mecánica de las mezclas, se verificó el comportamiento ante las condiciones que generan los deterioros típicos, específicamente, daño por humedad y fatiga, mediante ensayos de resistencia retenida a la tensión diametral (RRTD) y fatiga en vigas a flexotracción, respectivamente.

Tabla 1. Propiedades volumétricas de las mezclas modificadas.

Parámetro	PET		LDPE		PVC	Blíster	Control
	Seco (1.5%)	Húmedo (2.5%)	Seco (1.0%)	Húmedo (2.0%)	Seco (0.1%)	Seco (2.0%)	
Contenido de asfalto (%)	6.83	6.52	6.32	6.32	6.32	6.32	6.32
Vacios de Aire (%)	4.2	4.0	3.8	4.0	4.6	4.4	4.0
Vacios en Agregado Mineral (%)	17.5	15.4	14.5	15.2	14.7	14.9	14.9
Vacios Llenos de Asfalto (%)	74.3	73.8	74.9	73.8	68.6	65.6	73.1
Razón Polvo/Asfalto	0.97	1.14	1.17	1.16	1.28	1.05	1.19

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La etapa de evaluación térmica de los materiales es de suma importancia ya que permite determinar su resistencia a descomponerse en la aplicación de interés. Los resultados muestran que los polímeros ensayados son seguros para utilizar como aditivo en las mezclas asfálticas en caliente.

En consecuencia, los residuos pueden ser utilizados mediante el método seco y húmedo, ya que toleran las temperaturas involucradas en ambos procesos. En el caso de la modificación en húmedo, se encontró que, mediante este tipo de adición, se amplía el rango de temperaturas a las que el asfalto tiene un buen desempeño, lo cual indica que el ligante no solo mantiene sus características iniciales, sino que se espera que sea más resistente a la deformación, sin que se vean comprometido su comportamiento a bajas temperaturas.

Por otro lado, la incorporación de los materiales de desecho en seco mostró un impacto positivo general en la mezcla asfáltica. Se observó que las mezclas modificadas resultaron más resistentes a experimentar daño por humedad, siendo superiores a la mezcla de control hasta en un 10.6%. Se debe resaltar que la mezcla control no cumple con las especificaciones locales, por

lo que la modificación permite que se alcancen los requisitos mínimos de desempeño requeridos para las mezclas asfálticas en el país.

En cuanto a la resistencia a la fatiga del material, se encontró una mejora significativa al utilizarse los polímeros PET y blíster (cuando son adicionados por el método seco) así como LDPE (cuando es adicionado por el método húmedo).

Como observación general, se tiene que las mezclas modificadas con residuos plásticos son más rígidas que la mezcla control, evaluadas a frecuencias bajas, por lo que todas son clasificadas bajo la misma categoría de tráfico. Lo anterior indica que no existe una pérdida de calidad en las propiedades de la mezcla modificadas, en comparación con la de control, lo cual implica que el uso del material de desecho no desmejora la calidad de la mezcla original.

Por lo tanto, se concluye que el uso de los residuos de materiales poliméricos es una buena alternativa en términos de alcanzar un adecuado desempeño de las mezclas asfálticas resultantes. Adicionalmente, su uso es un potencial método de manejo de estos residuos, ya que los resultados muestran que al adicionar un porcentaje bajo de plástico de desecho a la mezcla asfáltica ocasiona una mejora general en su comportamiento mecánico. Esto tiene una ventaja adicional que puede cuantificarse en miles de botellas, bolsas, blísters, entre otros productos que son aprovechados en proyectos de infraestructura vial, evitando que lleguen a ser descartados en rellenos sanitarios o el medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Monturiol-Arroyo, M. *Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2019.
- [2] Gutiérrez-Montenegro, K.F. *Comparación de métodos de incorporación de polietileno de baja densidad a una mezcla asfáltica*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2019.
- [3] Corella-Vargas, M.J. *Evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica modificada con cloruro de polivinilo (PVC) según la tecnología Superpave*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2019.
- [4] Cajina-Cruz, N.A. *Diseño y evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica modificada con material de desecho*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 2020.