



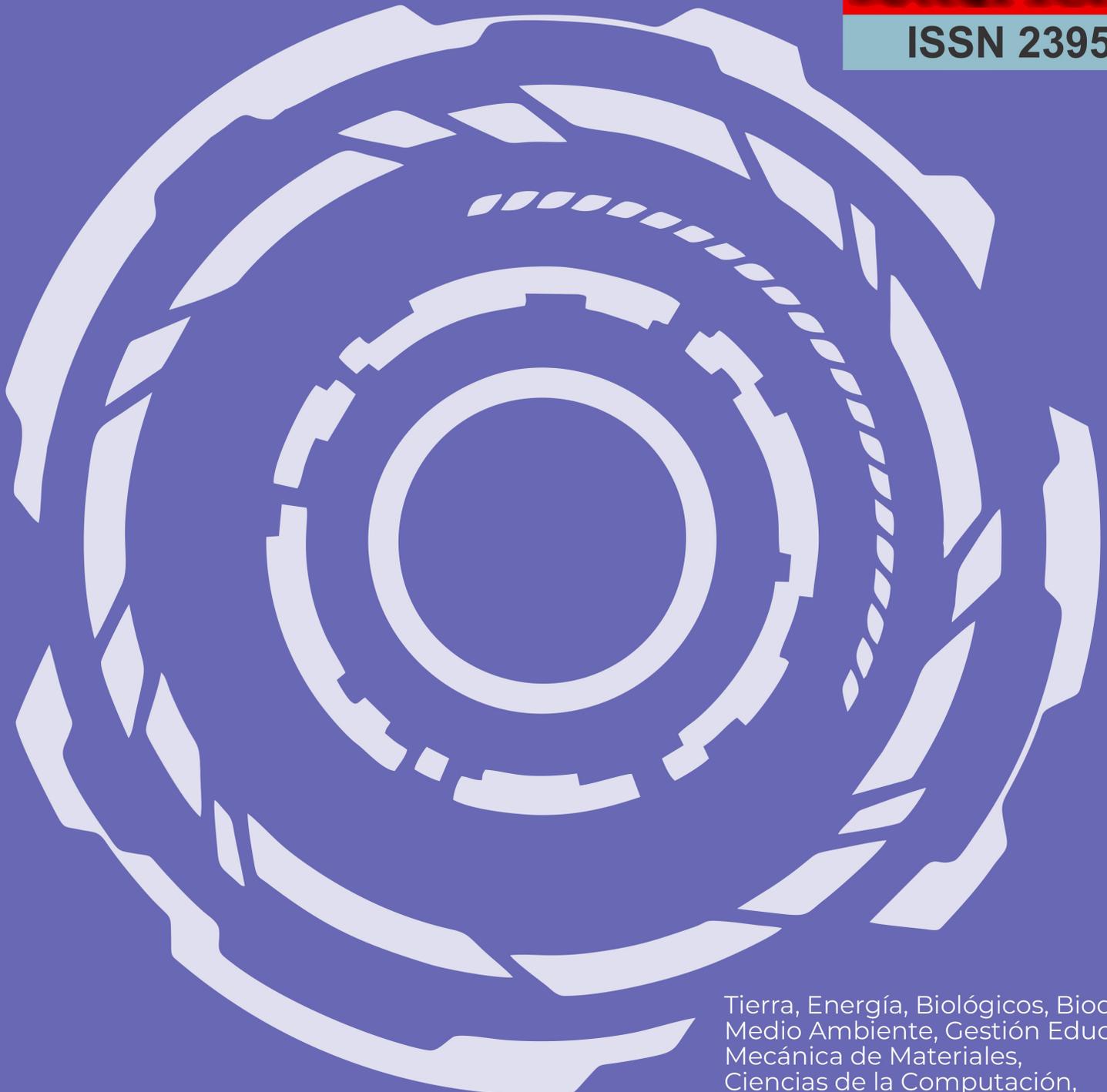
Ingeniantes®

Año 9, No.1, Vol. 1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452



Tierra, Energía, Biológicos, Bioquímica,
Medio Ambiente, Gestión Educativa,
Mecánica de Materiales,
Ciencias de la Computación,
Calidad y Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Año 9 / No. 1 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, Año 9, No. 1, Vol 1. Diciembre 2021 - Mayo 2022, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 15 de junio de 2022

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 22843.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a stylized, lowercase serif font. The letters are primarily dark red. The letter 'i' is white with a small orange circle above it. The letter 'n' is white with a vertical orange bar through its center. The letters 'l', 'a', 't', 'i', 'n', 'd', 'e', 'x' are dark red.

Junio 2022

Directorio

Mtro. Jorge Alberto Lara Gómez

Director General, ITSM, Veracruz, México

Mtro. Arturo Olguin Hernández

Director Académico, ITSM, Veracruz, México

Lic. Julio Cesar Rosas Cruz

Subdirector de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

L.C. Adriana López Trujillo

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Cuerpo Editorial

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor General

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Editor

Lic. Erik Balderas González

Coeditor

Administración

Ing. Mayra Lizeth Méndez Oloarte

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Sistemas

Administrador de Sistemas

M.S.C. Fernando Alberto Hernández Guevara

Webmaster

L.I. Ana Marcela Gutiérrez Romero

Distribución

Publicación electrónica disponible en

cift.itsm.edu.mx/ingeniantes

Correo electrónico:

revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

<https://www.latindex.org/latindex/ficha/22843>

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US	SNI
Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH	SNI
Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET	SNI
Dr. Abel García Barrientos, UASLP	SNI
Dr. David Lara Alabazares, ITSM	SNI
Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM	SNI
Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ	SNI
Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON	SNI
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET	SNI
Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET	SNI
Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ	SNI
Dr. José Luis Marín Muñiz, CV	SNI
Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT	SNI
Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM	SNI
Dra. María Cristina López Méndez, ITSM	SNI
Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM	SNI
Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ	SNI
Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET	SNI
Dr. Juan Carlos González Hernández, ITM	SNI
Dra. Laura Ruelas Monjardín, UV	SNI
Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNa	SNI
Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV	SNI
Dra. Blanca Dina Valenzuela Robles, CENIDET	SNI
Dr. Jesús Álvarez Cedillo, IPN	SNI
Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT	SNI
Dr. Luis Mejía Macario, ITSM	C. SNI
Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA	
Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN	
Dr. Joel Pozos Osorio, HUB2i	
Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH	
Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP	
Dr. Alfredo Alberto Morales Tapia, UV	
Dr. Alan Rico Barragán, ITSM	
Dr. Ramón Álvarez López, UDG	
Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM	
Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM	
Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM	
Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM	
Dr. Luis Enrique García Santamaría, ITSM	
Dra. Alicia Martínez Rebollar, CENIDET	
M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI	
M.C. Clovis Nchikou, ITNL	
M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR	
M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR	
M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, ITSAV	
M.I.I. Leonardo Martínez Lara, ITSAV	
M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán, ITSM	
M.S.C. Irahán Otoniel José Guzmán, ITSM	
M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM	
M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM	
M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM	
M.G.C. Eduardo Gutierrez Almaraz, ITSM	
M.I.I. Giovanni Luna Chontal, ITSM	

Ingeniantes



03



10



17



24



31

Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado _____ 03

Gema del Carmen Jiménez Gómez; Leonardo Martínez Lara; Marcos Martínez Valenzuela, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado

Análisis correlacional entre los índices de iluminación y la productividad en la industria maquiladora _____ 10

Jorge Rivera Flores; María Chanel Méndez Ramírez; Hugo Alberto Bravo Quintero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Sistema de estandarización mediante buenas prácticas de manufactura en una industria productora de alimentos balanceados _____ 17

David Iván Sánchez López; Marcos Salazar Medina; Fernando Aguirre y Hernández; Guillermo Cortés Robles; Nuria Ortega Petterson, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba

Evaluación térmica en mezclas de mortero a base de cemento, arena y caucho granulado _____ 24

Diana Carolina Álvarez García; José Fidel Navarro Arellano; Luis Aarón García Solórzano; Tecnológico Nacional de México / Campus Colima; Jorge Armando Ojeda Sánchez, Universidad de Colima

Cambios morfológicos y bioquímicos por inoculación de Rizobacterias en la planta de chayote (*Shechium edules* Jacq Sw) _____ 31

Janelive Duarte Ortiz, CBTa No.85; Norma Anabeli Coria Gil, Universidad Veracruzana / Campus Peñuela; Alondra Yajaira Sánchez Camarillo; Armando Domínguez Cervantes CBTa No.85; María Alva Ángel Lara; Universidad Veracruzana / Campus Peñuela

Contenido



40



48



54



60



68

Caracterización de un material hiperelástico sometido a pruebas de compresión utilizando Abaqus _____ 40
Ulises Augusto Jaen Rendon; Dariusz Szwedowicz; Miguel Alberto Domínguez Gurría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Desarrollo y validación de un dispositivo para determinación de humedad en suelos agrícolas _____ 48
José Rafael Argumedo Pereda, Darío Cisneros Arreola, Merit Cisneros González, Manuel Ismael Mata Escobedo, Ixchel Abby Ortiz Sánchez, Tecnológico Nacional de México / Valle del Guadiana

Ensayo de fatiga en una sección de la estructura de un autobús _____ 54
José Luis Ramírez Cruz, Universidad Autónoma Metropolitana / Unidad Azcapotzalco; José Emiliano Martínez Ordaz, Universidad Iberoamericana / Santa Fe

Influencia del tipo de elemento finito en perfiles laminares para el cálculo de esfuerzos y deformaciones _____ 60
Miguel Alberto Domínguez Gurría; Ulises Augusto Jaen Rendon, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Tecnología basada en videojuegos para enseñar y que los niños aprendan teoría musical _____ 68
Baruc de los Santos Izquierdo; Flor Radilla López, Universidad Autónoma del Carmen; Eduardo Vazquez Santacruz, Universidad Autónoma Metropolitana; Abner de los Santos Izquierdo, Universidad Tito Puentes



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado



Colaboración

Gema del Carmen Jiménez Gómez; Leonardo Martínez Lara; Marcos Martínez Valenzuela, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado

Fecha de recepción: 07 de octubre de 2021

Fecha de aceptación: 14 de febrero de 2022

RESUMEN: El presente trabajo de investigación muestra una categorización para el manejo de residuos de pescados originados por la principal actividad económica de Alvarado, Ver. “la pesca”; el pescado comúnmente es eviscerado para su almacenamiento y comercialización, dicha actividad se realiza dentro de las pesquerías que de manera regular no tienen un cuidado en el manejo de sus desechos encontrándose estos comúnmente expuestos a la intemperie, la metodología empleada se centra en 5 etapas que describen la situación actual presentada en el manejo de los residuos de pescado, la cantidad de desechos generados dentro de las pesquerías, elaboración del plan de manejo mediante la integración de una categorización, la definición de la reutilización de los desechos, para concluir con la propuesta de realización de un subproducto. En respuesta a ello se muestran dos alternativas; una la elaboración de harina de pescado y la elaboración de aceite de pescado, con el fin de presentar proyectos alternos y como consecuencia se disminuya el impacto ambiental negativo en el sistema lagunar de Alvarado e incremente la activación económica.

PALABRAS CLAVE: Desecho, Pesquería, Plan de Manejo, Subproducto, Categorización.

ABSTRACT: This research work shows a categorization for the management of fish residues originated by the main economic activity of Alvarado, Ver. “Fishing”; The fish is commonly gutted for storage and commercialization, this activity is carried out within Fisheries that regularly do not take care in the management of their waste, being these commonly exposed to the elements, the methodology used focuses on 5 stages that describe the current situation presented in the management of fish waste, the amount of waste generated within the Fisheries, preparation of the management plan through the integration of a categorization, the definition of the reuse of waste, to conclude with the proposal for the realization of a by-product. In response to this, two alternatives are shown; one the elaboration of fishmeal and the elaboration of fish oil, in order to present alternative projects and as a consequence the negative environmental impact in the Alvarado lagoon system is diminished and the economic activation increases.

KEYWORDS: Disposal, Fishery, Management plan, By-product, Categorization.

INTRODUCCIÓN

Los desechos y residuos generados dentro del sector productivo siempre han sido foco de atención y de mejora, ya que en ellos se concentra un gran capital invertido, principalmente en aquellos procesos que son considerados dentro del sector primario como: la agricultura, ganadería, pesca, etc. Encontrando

la mejor forma de aprovecharlos, las organizaciones serán más competitivas, podrán disminuir su impacto ambiental y generarán nuevas oportunidades de negocios dentro de otros sectores. La industria pesquera es una gran fuente generadora de residuos acuícolas proveniente principalmente de la variedad de peces [1]. Los “desechos de pescado” se describen como las diferentes especies de peces pequeños o productos de capturas no deseadas, que tiene poco valor en el mercado debido a su tamaño o algún tipo de daño. Aquellas partes del pescado que no son usadas rutinariamente para el consumo como las cabezas, las pieles, escamas y vísceras también son referidos como desechos de pescado. Este tipo de desechos representan más del 50% del peso del pescado [2].

Los residuos del procesamiento de pescado son desechados de manera indiscriminada, propiciando la contaminación ambiental, debido a que el pescado es un recurso altamente perecible y que, a temperatura ambiente, los procesos de degradación enzimática y bacteriana se aceleran considerablemente [3].

Cuando se desechan los residuos en el agua, reduce la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto; por lo tanto, es necesaria la búsqueda de alternativas para disminuir el impacto causado por este tipo de residuos, buscando el aprovechamiento de desechos orgánicos y de esta manera minimizar el problema de contaminación ambiental, y generar un valor agregado a este desecho piscícola [4].

En el mundo, cada año se producen casi 70 millones de toneladas de pescado procesado, las cuales generan desechos que ascienden a 65 por ciento de la materia original y que son factibles de transformarse en sub-productos [5].

La variedad de peces que se encuentran en los litorales de México, se estima que el 60% del contenido de un pez se aprovecha para la elaboración de alimentos y el 40% restante como lo son aletas, escamas, esqueleto y cabeza son desechados; sin embargo, con estas partes en algunos lugares de la república obtienen harina y aceite que se utilizan en la industria ganadera. [1]

En la región del Litoral Golfo de México y Caribe, Veracruz es el primer productor pesquero y acuícola; aporta al mercado nacional 76 mil 154 toneladas de pescado [6].

El Sistema Lagunar de Alvarado es reconocido también como un sitio de pescadores, un lugar que ha sido la sede del desarrollo de una cultura regional en torno a la pesca; esto es así porque es el hábitat de diversas especies de importancia comercial, lo que le ha conferido un papel como generador de alimentos y de empleo, que ha permitido la subsistencia de miles de familias que habitan en el entorno. Los recursos pesqueros

del Sistema Lagunar de Alvarado abarcan una amplia gama de especies dulceacuícolas, eurihalinas y marinas, que habitan temporal o permanentemente en la zona; las especies más representativas son la almeja (primer lugar en producción en el Golfo de México), la mojarra, el ostión, la jaiba, el langostino, el camarón, el chucumite, la cintilla, el robalo, la lebrancha y la naca, entre otras [7].

La presente investigación, muestra la realización de una categorización para el tratamiento de los residuos de pescado dentro de las actividades pesqueras del municipio de Alvarado; Veracruz, para el aprovechamiento por parte de pescadores y/o aliñadores de la zona, la problemática que actualmente se presenta es que estos desechos son tirados en cubetas o directamente al piso la cual llevan consigo la acumulación de moscas e insectos que a su vez es una fuente de problemas de salud en la sociedad por la transmisión de enfermedades infecciosas. Una parte de los desechos son empleados de carnada para la realización de la actividad pesquera y la otra es desechada al sistema lagunar de Alvarado.

El objetivo de la investigación es establecer una categorización para el tratamiento de esos residuos dentro de las pesquerías de la ciudad, y proponer a los productores el uso de estos para la elaboración de derivados en el aprovechamiento total de los desechos generados por las diferentes variedades de pescados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Dentro de la realización de esta investigación se visitó a 35 pesquerías de la región de Alvarado dedicadas a la comercialización de productos pesqueros, y por medio de entrevistas directas a los encargados y/o dueños de las pesquerías se recolectó información sobre la generación y usos de los desechos que generan día a día en la realización de sus actividades. Esto con el fin de establecer planes y acuerdos para la acumulación de los mismos en cada una de las pesquerías.

Se recolectó información sobre los diferentes desechos que son generados por el residuo, el manejo actual de los desechos del pescado, así como su problemática. Mediante el análisis de información [8] se identificó del uso y aprovechamiento potencial del residuo en otras actividades productivas, en base a un plan de manejo se estableció una categorización para el adecuado tratamiento de esos residuos y alternativas para su disposición final.

Se levantó información del conteo de los residuos en 26 días, realizado en el mes de agosto, y se pudo contabilizar una cantidad de 47,307 Kilogramos, resultando una cantidad promedio día de 1,819.5 kilogramos de desechos de pescado de diferentes variedades dentro de las pesquerías de Alvarado.

Metodología

La metodología de este proyecto se basa en un análisis descriptivo, buscando analizar y describir, la magnitud del problema presentado al no llevar un manejo adecuado de los residuos de pescado, llevando consigo problemas de contaminación al subsuelo cuando estos son arrojados al agua. Para el desarrollo de la categorización de los residuos de pescado, las actividades desarrolladas son: conocer la situación de los encargados de las pesquerías y poder establecer acuerdos para el desarrollo del proyecto. Contabilizar la cantidad de desechos de pescado generados en la zona, para posteriormente establecer una categorización en el manejo adecuado de los residuos de pescado y así definir la reutilización de los desechos de pescado para la propuesta de reutilización de los desechos.

Los puntos que se desarrollaron son los siguientes:

Investigación de la situación actual de los desechos de pescado: se realizaron entrevistas a 35 encargados de pesquerías de la zona de Alvarado, para conocer la situación actual con respecto a la generación de los desechos de pescado, constatando así el mal manejo de los residuos y que estos generan una contaminación en el ambiente y el desaprovechamiento del mismo. Con el apoyo de las organizaciones pesqueras se desarrolló un diagrama de causa-efecto (Figura 4) para conocer las causas puntuales en el mal manejo de los residuos pesqueros, de igual forma se generaron encuestas y entrevistas para la obtención de información fundamental en el seguimiento de la investigación.

Medición de la cantidad de desechos de pescado generados en la zona: se llevó un registro diario durante 26 días para determinar la cantidad de desechos generados durante el mes de agosto, de igual forma se desarrolló un análisis de la NOM-161-SEMARNAT-2011 para determinar el Manejo de los residuos. [8]

Establecimiento de categorización para el manejo adecuado de los desechos: de acuerdo a normativa establecida se estableció un plan para el manejo de desechos [8], de la misma manera se realizó un diagnóstico de los principales tipos de residuos generados, su manejo actual, y el impacto ambiental generado para así poder determinar propuestas para el uso potencial y manejo integral de los residuo en otras actividades productivas dentro de la región.

Definir la reutilización de los desechos: en base a los cerca de 48,000 kilogramos promedios generados mensualmente se propone la reutilización de los desechos para la generación de una actividad económica complementaria utilizando estos desechos.

Propuesta de subproducto: se analizan cada uno de los derivados de los desechos del pescado, estudiando los métodos a utilizar y se define la elaboración de harina de pescado y la elaboración de aceite de pesca-

do para establecerlo dentro del municipio de Alvarado como detonante económico y/o ambiental con el uso de estos desechos.

RESULTADOS

De acuerdo a los datos mostrados derivados del proyecto de investigación realizado en campo, se realiza el cálculo para determinar el tamaño de la muestra con una población finita [9] dentro del estudio a 65 pesquerías existentes en la cabecera del municipio de Alvarado, Veracruz; dedicadas a la pesca y comercialización de mariscos se pudo conocer y determinar en 35 establecimientos la situación actual sobre la generación de los desechos durante la realización de esta actividad:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

N = Total de la población = 65

Z_α = 1.96 95%

p = proporción esperada 5% = 0.05

q = 1-p (1-0.05) = 0.95

d = precisión = 0.05

Dentro de los resultados encontrados del total de las 35 pesquerías se puede mostrar lo siguiente: en la Figura 1 se observan los diversos tipos de pescados que se alían en la zona siendo estos: la cintilla con el 22%, el pez caballo con el 20%, con el 14% se alía el chucumite, 11% el pez Cochino, 10% la trucha, el 5% la mariposa y la mojarra, el 4% el pez telele y robalo, el 3% el lenguado, y el 1% el pez perro y el rápago.

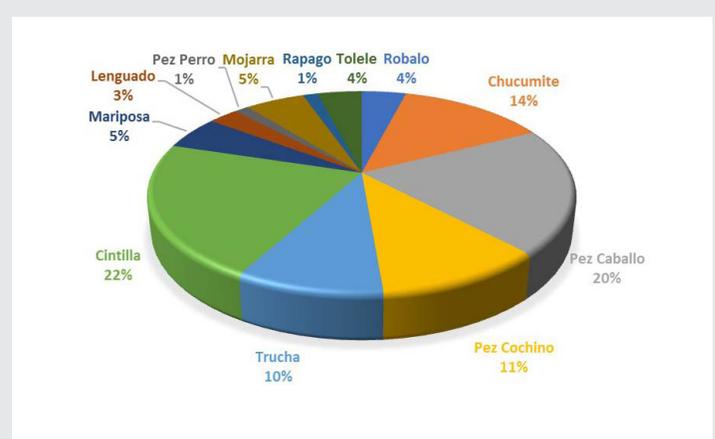


Figura 1. Tipos de pescados

Así mismo, se obtuvo el porcentaje de desechos generados por tipo de pescado, ver Figura 2. Siendo del 29% de espinas, 18% de vísceras, 18% de cabezas, 15% se obtiene de piel, el 11% de escamas, el 8% ya obtienen el pescado eviscerado el cual es adquirido en embarcaciones mayores, y sólo el 1% recolectan los restos de la carne del pescado.

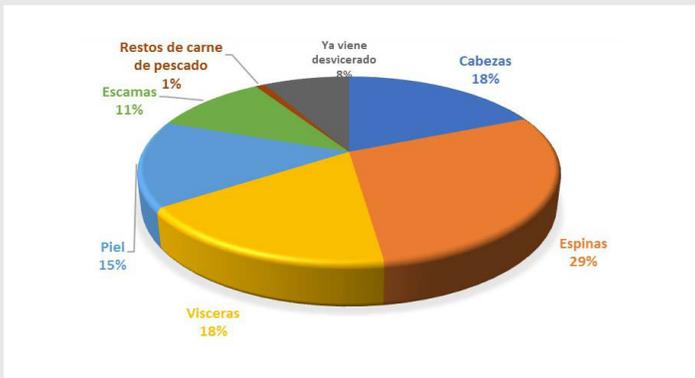


Figura 2. Porcentaje de desechos



Figura 5. Desechos 1



Figura 6. Desechos 2

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de utilización de los desechos, el 51% es tirado al río, el 34% es empleado para carnada, el 11% se tira o cae al suelo y el 4% se lo dan como comida a las aves carroñeras que se encuentran a la orilla del río (Pelicanos).

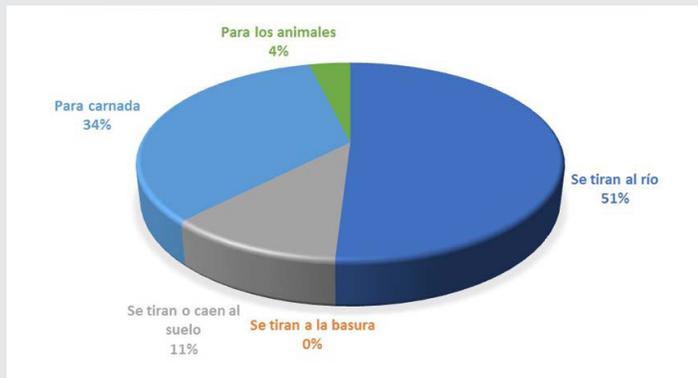


Figura 3. Porcentaje de utilización de desechos

El principal problema radica en el método ya que no existe un proceso establecido para el manejo de los residuos (ver Figura 5 y 6), a su vez en la disposición final en tierra y mar, incrementando la contaminación por una alta carga orgánica, la provocación de malos olores, y la generación de fauna nociva, además de contribuir a la transmisión de enfermedades, afectando al sistema lagunar de Alvarado, conforme análisis causal realizado con el personal encargado de las 35 pesquerías mostrado en la Figura 4.

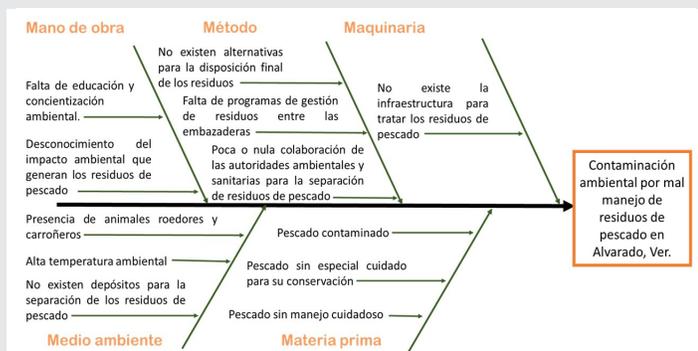


Figura 4. Causa-efecto

En la recolección de datos de los desechos diarios recolectados durante el mes de agosto, se realizó una estratificación del total de desechos de las 35 cooperativas pesqueras para conocer la cantidad de desechos generados en cada una de ellas estableciendo que el 34% generan un desecho de 30 kg a 50 kg diarios, con el 26% se generan desechos de entre 60 kg a 100 kg, también con 26% menores de 20 kg y en un 14% desechos de más de 100 kg diarios.

En cumplimiento a la NOM-161-SEMARNAT-2011 la cual establece los criterios para la clasificación de los residuos de manejo especial y la determinación de cuáles están sujetos a un plan de manejo; se logró desarrollar un plan de manejo de residuos sólidos que incluye la responsabilidad conjunta y coordinada de todos los involucrados dentro de la cadena de valor, considerando un plan de manejo independiente para cada una de las pesquerías y considera elementos particulares según sea el caso. En cumplimiento al marco normativo descrito analizado se establece un plan de manejo de desechos mediante una categorización mostrado en el diagrama de flujo, Figura 7.

Dentro del plan para el manejo de desechos de pescado se pudo determinar dos propuestas de elaboración de subproductos: la fabricación de harina de pescado y la elaboración de aceite de pescado con el objetivo de aprovechar en su totalidad los desechos, y en beneficio de los pescadores, aliñadores y del sistema lagunar de Alvarado, Ver.

El proceso de la harina y aceite de pescado consiste en cocer a 100°C los residuos del pescado después de ser recolectados para dividir los sólidos del agua y el aceite (Figura 8). La cocción de igual forma coagula las proteínas de los tejidos y esteriliza el producto.

Se retira la mezcla de aceite, agua y proteína soluble, llamada "licor", de los sólidos mediante el prensado. Esto puede realizarse mediante un paño limpio. Los sólidos divididos del licor se denominan "torta prensada" la cual es considerada la masa principal para su deshidratación.

Posteriormente el licor se deja reposar por un tiempo de 24 horas en refrigeración para conseguir una mezcla denominada “agua de cola”. Esto contiene alrededor del 65% de la materia prima del aceite obtenido mediante un proceso de decantación, para su envasado final.

La masa extraída se deshidrata para eliminar la humedad hasta un 16% para posteriormente ser triturada y así conseguir una harina lista para usarse o empaquetarla para su almacenamiento.

Las alternativas de procesado para los residuos del pescado se presentan en la Figura 8.

CONCLUSIONES

Entre el 60% y 70% de las partes de un pescado está compuesto por espinas, vísceras, cabezas, piel, y escamas [10], dentro de la comercialización de productos pesqueros realizadas en el puerto de Alvarado existe una variedad de pescados como lo son: la cintilla, el pez caballo, el chucumite, pez cochino, la trucha, mariposa, mojarra, pez telele, robalo, el lenguado, pez perro y el rápago; dentro de este sector el 51% de los desechos es arrojado al río, el 34% es empleado para carnada en la actividad de pesca, el 11% se tira o cae al suelo y el 4% se lo dan como comida a pelicanos que se encuentran a la orilla de la laguna de Alvarado.

La propuesta de la categorización para el tratamiento de los residuos del pescado es en respuesta a los 1,819.5 Kilogramos de desechos diarios de pescado que pudieran ser aprovechados en su totalidad, y con ello disminuir la contaminación del sistema lagunar, la eliminación de malos olores y fuentes de infección originados por los desechos. Donde se consideró en primera instancia establecer una categorización desde el eviscerado de pescado, el manejo de los residuos, para la cuantificación y clasificación de los mismos, después de la categorización de los residuos, se establece una disposición final, donde se lleva a cocción, para posteriormente centrifugar la biomasa, todo ello para obtener el aceite de pescado, otro proceso es la obtención de harina de pescado, donde después del prensado, se lleva al secado, para posteriormente triturar y moler.

En cumplimiento a la NOM-161-SEMARNAT-2011; se desarrolló un plan de manejo de residuos sólidos que incluye la responsabilidad conjunta y coordinada de todos los involucrados dentro de la categorización considerando un plan de manejo independiente para cada una de las pesquerías, sin dejar a lado la concientización de los productores, la cual será motor que impulse al seguimiento de la metodología empleada para la determinación de la categorización en el tratamiento de residuos de pescado. Para poder ser empleado en la elaboración de subproductos como lo son la fabricación de harina de pescado y la elaboración de aceite

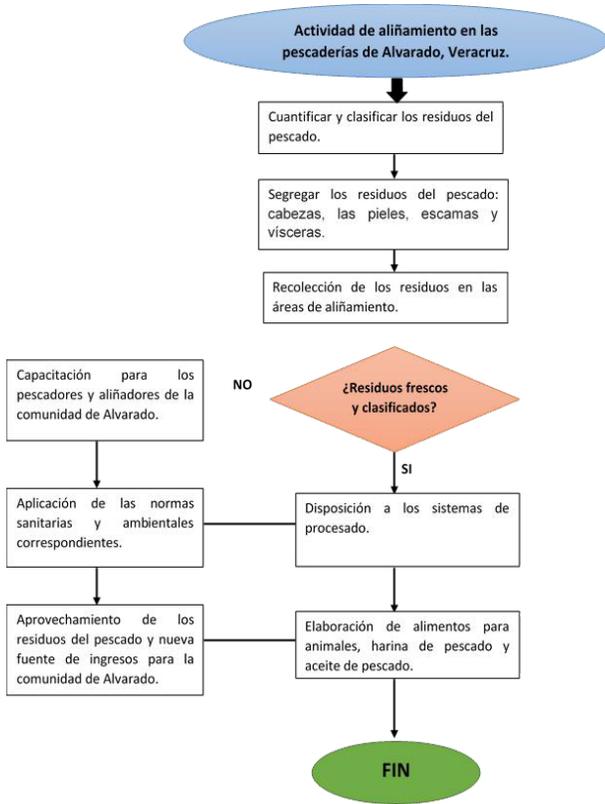


Figura 7. Diagrama de flujo

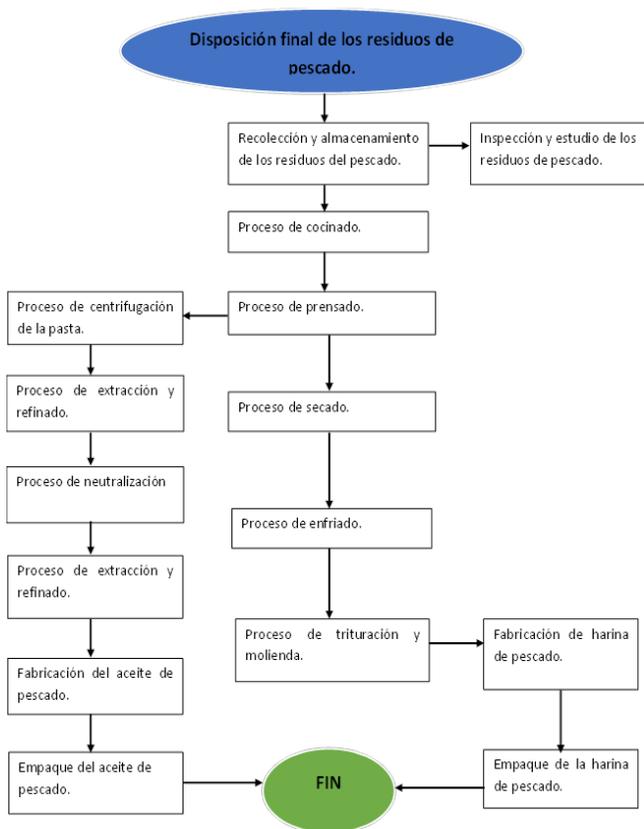


Figura 8. Disposición final

de pescado en beneficio de los productores, pescadores y aliñadores del sistema lagunar de Alvarado y la disminución de la contaminación del afluente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] C. O. G. Sifuentes, «Agencia de Noticias RTV,» 11 04 2019. [En línea]. Available: <http://www.masnoticias.mx/con-desechos-de-pescado-se-puede-obtener-harina-y-aceite-que-se-utiliza-en-la-ganaderia/>.

[2] «Aprovechamiento de los desechos del pescado en la alimentación animal,» 27 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.aquahoy.com/i-d-i/valor-nutricional/34390-aprovechamiento-desechos-pescado-alimentacion-animal>.

[3] «CITE PESQUERO AMAZÓNICO,» MAYO 2020. [En línea]. Available: http://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/2020/BoletinInformativo_DP_2-2020.pdf.

[4] L. M. P. Naranjo, «Aprovechamiento de las vísceras de pescado como fuente de energía para minimizar el problema de contaminación ambiental del sector piscícola.,» *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 7, n° 2, 2016.

[5] «Residuos pesqueros,» 2000 *Agro Revista Industrial del Campo*, 2016.

[6] SEDARPA, «Veracruz.gob.mx,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2012/08/ff07-ps-pvd-11-16-pvdarfp-7.pdf>.

[7] P. C. Alejandro, «Plan de Manejo Pesquero del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz,» 2014.

[8] SEMARNAT, NOM-161-SEMARNAT-2011, MEXICO, D.F.: D.O.F., 2013.

[9] H. A. G. Rojas, *Estrategias de Muestreo (Diseño de encuestas y estimación de parámetros)*, Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2016.

[10] S. J. y. Ribeiro, «Utilización de residuos del procesamiento de tilapia para la producción de hidrolizado de proteína de pescado.,» *Ciencia y tecnología de la alimentación animal*, vol. 196, pp. 96-106, 2014.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Análisis correlacional entre los índices de iluminación y la productividad en la industria maquiladora



Colaboración

Jorge Rivera Flores; María Chanel Méndez Ramírez; Hugo Alberto Bravo Quintero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Fecha de recepción: 25 de diciembre de 2021

Fecha de aceptación: 27 de febrero de 2022

RESUMEN: Condiciones de iluminación adecuadas dentro de los espacios de producción se ven reflejados en los índices de defectos cometidos al manufacturar prendas de vestir. Los procesos industriales en ambientes cerrados están llegando a ser altamente complejos ya que los operarios están expuestos a pobres condiciones de luz que los exponen a un amplio rango de problemas visuales al operar máquinas de precisión, al coser prendas, planchar telas entre otras actividades. Esta investigación se enfocó en realizar un estudio correlacional entre la variable independiente de iluminación y la variable dependiente correspondiente al número de defectos por hora mediante el método de los mínimos cuadrados, en donde se denota que alrededor del 21 al 37% de las condiciones de iluminación tienen un efecto causal sobre la capacidad de producción efectiva en los trabajadores ya que los niveles de iluminación y los defectos en la producción tienen una correlación lineal negativa, por lo cual los niveles bajos de iluminación deben ser evitados especialmente en los planos de trabajo a donde el operario interactúa.

PALABRAS CLAVE: Iluminación, Plano de trabajo, Maquiladora, Prendas de vestir, Correlación, Regresión Lineal.

ABSTRACT: Adequate lighting conditions within production spaces are reflected in the defect rates committed when manufacturing garments. Industrial processes in closed environments are becoming highly complex and operators are exposed to poor lighting conditions that expose them to a wide range of visual problems when operating precision machines when sewing garments, ironing fabrics among other activities. This research focused on conducting a correlational study between the independent variable of lighting and the dependent variable corresponding to the number of defects per hour by means of the least squares method, where it is denoted that around 21 to 37% of the lighting conditions have a causal effect on the effective production capacity of workers since lighting levels and production defects have a negative linear correlation, so low lighting levels should be avoided especially in work planes where the worker interacts.

KEYWORDS: Lighting, Work plane, Assembly plant in Mexico, Garments, Correlation, Linear Regression.

INTRODUCCIÓN

El sector de manufactura textil en la ciudad de Teziutlán, Puebla está fuertemente consolidado como una industria enfocada a la exportación, considerada como la tercera ciudad maquiladora más grande del estado de Puebla [1].

Teziutlán, siendo una ciudad dedicada en su mayoría a la confección de prendas de vestir, se integró a este sector desde los años 90's, concentrando una cantidad de empresas dedicadas a esta labor tan intensa y que basa su economía en la productividad de todos y cada una de las personas dedicadas a este tipo de economía [2]. Sin embargo, la industria maquiladora de ropa la sido fuertemente criticada desde el 2000, por sus pobres condiciones destinadas a la manufactura de la confección, especialmente por el gran crecimiento que las empresas instaladas en esta región han tenido en donde se ofrecen pobres ambientes de iluminación destinados a los espacios de producción afectando a los trabajadores, todo esto debido a que Teziutlán se encuentra en la sierra de Puebla y debido a los terrenos accidentados no es posible crear grandes espacios planos para la instalaciones de plantas productivas [3].

Los ambientes con buena iluminación actúan a través de una cadena de mecanismos sobre factores psicológicos y psicosociales que con fuerza influyen en desempeño humano y por ende en su productividad. Muchos factores tales como la habilidad, educación y experiencia previa afectan de igual manera en la productividad de los operarios que día a día conviven y laboran dentro de las empresas de la industria maquiladora de la región de Teziutlán, Puebla [4].

La hipótesis de trabajo o de investigación que se plantea en el presente resumen, es del carácter de hipótesis correlacional ya que se va a determinar si la variable independiente de iluminación y la variable dependiente correspondiente al número de defectos, se encuentran asociadas, por medio del vínculo que se establece entre estas.

Por lo tanto el objetivo de esta investigación consiste en: Analizar la relación entre los niveles de iluminación y la productividad del operario en la industria maquiladora de Teziutlán, Puebla en base a los mínimos cuadrados, con la finalidad de proponer mejoras que coadyuven a mejorar los espacios de trabajo en donde a diario interactúan los operarios.

Mas, sin embargo, la iluminación es uno de los aspectos ambientales más importantes que influyen en gran medida el desempeño humano en el trabajo. Proveer a los trabajadores, espacios con suficiente iluminación para llevar a cabo tareas visuales se traduce en la mejora de la precisión, incrementando la velocidad de producción y reduciendo la generación de desperdicios tanto de materiales y tiempo. Los procesos de producción en el sector maquilador de esta ciudad se constituyen por varias etapas discretas de actividades las cuales están conec-

tadas de manera progresiva formando una cadena laboral en un proceso de producción intensivo, en las que se es necesario proporcionarle los medios para generar un ambiente de trabajo excelente que maximice la productividad [5].

Las maquiladoras de ropa en esta región del estado de Puebla, se están enfocando de manera incremental el elevar los niveles de iluminación en varias necesidades funcionales dando preferencia a las operaciones de cosido de las prendas lo cual está elevando los índices de consumo eléctrico [6].

Los principales temas de salud en la visión de los operarios son indicadores de condiciones inapropiadas de iluminación las cuales se resumen en el gráfico siguiente.

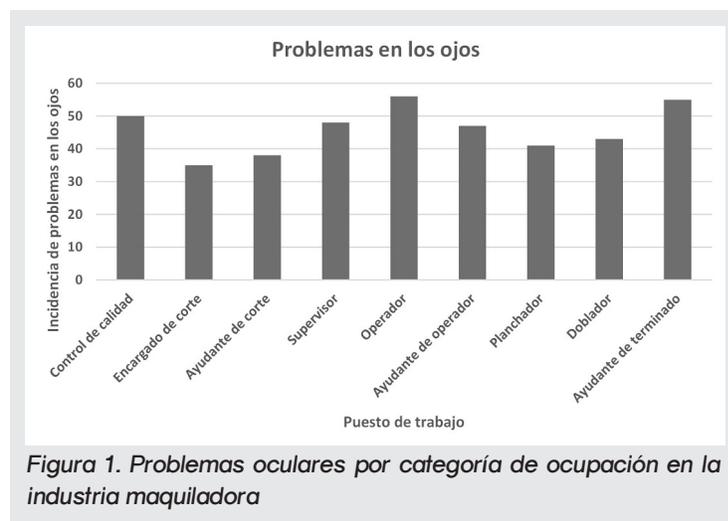


Figura 1. Problemas oculares por categoría de ocupación en la industria maquiladora

La mayoría de empresas maquiladoras de ropa, hacen uso de lámparas led para alcanzar niveles de iluminación de gran nivel en los planos de trabajo, en donde los índices de brillo en los ambientes laborales causa conflicto con la cantidad de luz emitida la cual puede causar problemas visuales hacia el operario. Por lo tanto, es necesario tomar las muestras de intensidad lumínica que sea la idónea para desempeñar trabajos que requieren gran precisión dentro de la industria maquiladora de prendas de vestir [7].

El objetivo de los resultados de la investigación plasmada en este documento, consiste en documentar la relación que existe entre las condiciones de iluminación y los índices de fallas cometidos a través de una relación lineal por el método de los mínimos cuadrados con la finalidad de poder hacer recomendaciones que impacten en la mejora de los ambientes de trabajo en donde a diario conviven los trabajadores de la industria maquiladora de la región de Teziutlán, Puebla, y que a futuro mejor los índices de productividad.

Para la recopilación de los datos se realizaron encuestas con un estudio experimental detallado en los espacios de producción sobre las condiciones de iluminación en el desempeño actual de los trabajadores de la industria maquiladora de ropa de la región de Teziutlán, Puebla. La eficiencia laboral fue registrada a través de la observar el número de defectos durante el proceso de producción. De acuerdo al directorio de empresas registradas en el estado de Puebla el cual asciende a 2000, se tomó una muestra aleatoria de 50 maquiladoras de ropa pertenecientes al municipio de Teziutlán [8]. Después de estructurar el cuestionario y como resultado de visitas hacia la empresa se realizó el reconocimiento a fin de explorar la geometría y tipología de los espacios de producción dentro de las empresas maquiladoras de ropa.

Se identificaron tres formas diferentes de espacios productivos los cuales incluyen diferencias en el tipo y altura del techo, profundidad de las unidades de producción, altura de las ventanas, distribución de las luces, entre otras características relevantes [9].

MATERIAL Y MÉTODOS

Las construcciones fueron agrupadas en tres niveles de espacios productivos con la finalidad de investigar las condiciones de iluminación que impedían en ellas.

Tabla 1. Detalles de los 3 tipos de instalaciones identificadas

Nombre del sistema de producción	Niveles totales en el espacio de producción	Ubicación del espacio de producción encuestado	Ubicación de la ventana	Profundidad promedio del área activa	Área del piso (m ²)	Altura del techo (m)
Unidad de producción 1	9	5	S-E S-O	45.1	2600	3.66
Unidad de producción 2	2	1	E, O	41.5	4650	6.1 – 10.7
Unidad de producción 3	6	3	N, S	35.4	2250	3.81

El tamaño de la muestra para esta investigación fue de 60 trabajadores seleccionados de cada uno de los espacios de producción para efecto de la encuesta, así como del análisis estadístico. Los datos fueron tomados directamente del área de trabajo a través de observación, preguntas y mediciones con el Luxómetro digital AEMCID modelo CA-811 [10].

Condiciones de iluminación existentes

Los niveles de iluminación fueron medidos en tres posiciones dentro de los espacios de producción [11]. Un grupo de mediciones fue tomado cuando se hace uso de la luz artificial, tal y como lo muestra la figura 2, antes del desayuno y otra con las luces apagadas durante el mismo desayuno, con la finalidad de probar la penetración de la luz del día y su contribución a las condiciones de iluminación de los espacios productivos.



Figura 2. Espacios de trabajo en la industria maquiladora. Tomado de Keter (2021)

Todos los datos fueron medidos a una altura horizontal de plano de trabajo de 0.76m sobre el nivel del piso. Los espacios muestreados fueron divididos en una malla, y con la ayuda de los planos de las plantas se tomaron las muestras de los niveles de iluminación promedio con solo luz de día y los niveles de iluminación promedio que integran a la luz de día y la luz artificial [12]. Se observó que los niveles de iluminación en los espacios de producción en las unidades de producción 3 es más elevada que los otros dos espacios, tal y como lo muestra la tabla 2, esto debido a que las ventanas están más altas.

Tabla 2. Niveles de iluminación medidos

Espacio de producción	Zona de localización	Nivel de iluminación promedio en luxes (Luz de día)	Nivel de iluminación promedio en luxes (Luz de día + Luz artificial)
Unidad de producción 1	Cerca de la ventana (Luz de día parcial)	166	873
	Centro de la profundidad media del espacio (Mayormente luz artificial)	3	588
	Más alejado de las ventanas (Completamente luz artificial)	0	532
Unidad de producción 2	Cerca de la ventana (Luz de día parcial)	258	953
	Centro de la profundidad media del espacio (Mayormente luz artificial)	9	672
	Más alejado de las ventanas (Completamente luz artificial)	1	581
Unidad de producción 3	Cerca de la ventana (Luz de día parcial)	287	1088
	Centro de la profundidad media del espacio (Mayormente luz artificial)	6	792
	Más alejado de las ventanas (Completamente luz artificial)	0	696

La luz de día tiene un radio de uniformidad bajo en todos los espacios de producción y por ende es necesario soportarse mediante la luz artificial interna de las plantas. Los tres espacios de producción hacen uso de lámparas de tubo fluorescentes. La uniformidad lumínica, diversidad de iluminación e índice de espacios de altura, fueron calculados en base de los registros de iluminación durante las tomas de muestras y encuestas en los espacios de producción. Las lámparas están a una altura de 2.13 m desde el nivel del suelo, la tabla 3 muestra la uniformidad lumínica de 0.48 en los espacios de producción 3, el cual es considerado como bajo. La diversidad de iluminación en los espacios de trabajo se registró con mayor nivel en los espacios de trabajo de las unidades de producción 3.

Tabla 3. Uniformidad y diversidad promedio de iluminación

	Espacio de producción 1	Espacio de producción 2	Espacio de producción 3
Uniformidad lumínica	(453/664) =0.66	(420/735) =0.57	(390/805) =0.48
Diversidad de iluminación	(1150/435) =2.5: 1	(1050/420) =2.5: 1	(1490/390) =3.5: 1

Los trabajadores de los espacios de producción 3, enfrentan más problemas con el brillo o contraste que otros espacios de producción. El valor del índice de espacios de altura es bajo en los espacios de producción 1 el cual indica un ambiente artificial bueno y libre de resplandor.

Los niveles de iluminación en comparación con los estándares internacionales muestran que son más altos en los planos de producción muestreados [13]. La uniformidad de iluminación recomendada usualmente debe no ser menos a 0.8 lumenes, con eso se determina que en ninguno de los espacios de producción de adecua al estándar. Por otro lado, tomando en consideración la diversidad de luminiscencia, todos los resultados este dentro del estándar de 5:1.

RESULTADOS

Las dos principales variables fueron tomadas de las propias muestras al mismo tiempo y en análisis de correlación con la evidencia disponible fue calculada mediante un Análisis de datos de Microsoft Excel. La variable independiente es el nivel de iluminación y la variable dependiente es el número de defectos por hora.

Para comprender la relación entre estas dos variables, se realizó un diagrama de dispersión con análisis detallado de regresión lineal simple; la cual se observa de manera gráfica en la figura 3, la cual muestra la relación lineal entre la variable independiente (Nivel de iluminación) y la variable dependien-

te (Porcentaje de defectos producidos por hora) dentro de los dos ejes X y Y, respectivamente.

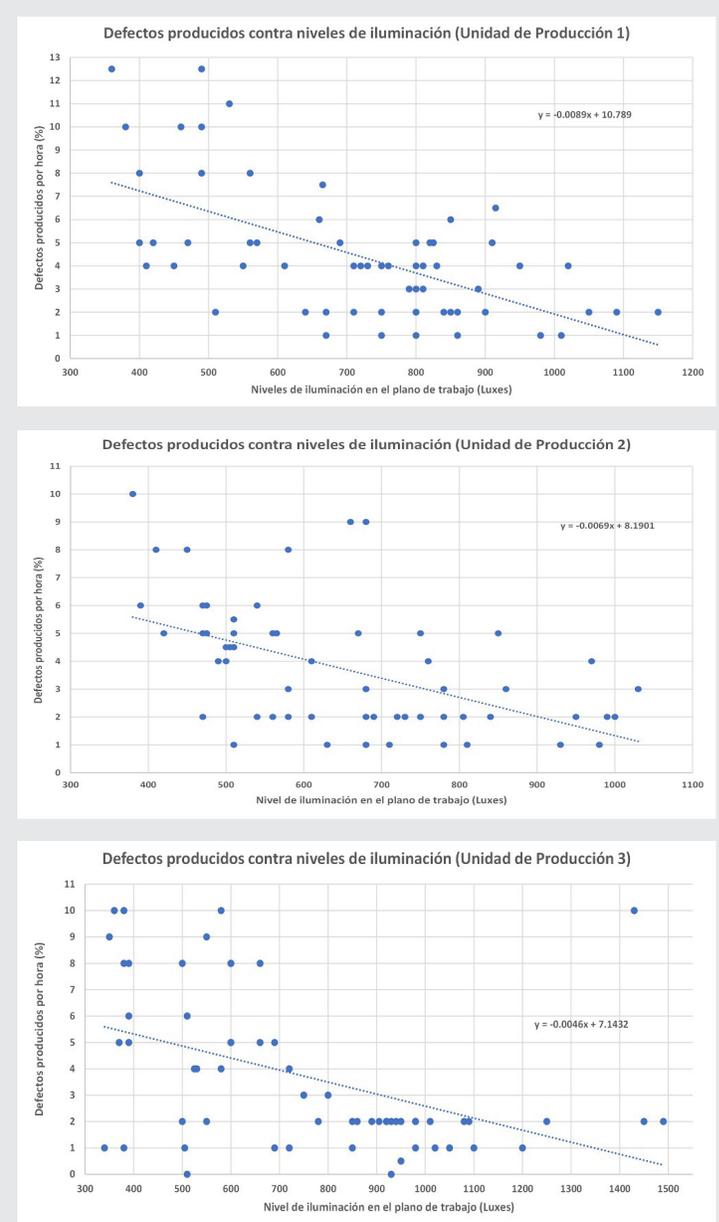


Figura 3. Problemas oculares por categoría de ocupación en la industria maquiladora

Comparando los diagramas de dispersión de las tres unidades de producción, se observa el modo de tendencia lineal, denotándose que la inclinación de las líneas es similar, y que los niveles de iluminación tienen un efecto moderado en la eficiencia de la producción.

El análisis estadístico de regresión, se muestra en la tabla 4, donde los r^2 son mostrados.

En el espacio de producción 1, el valor r, revela que los niveles de iluminación tienen un 36% de efecto causal sobre los defectos en la producción. El resto

de las causas pueden ser otras variables ambientales o factores personales propios del operario [14]. En los espacios de producción 2 y 3, los valores de r^2 , muestran que los niveles de iluminación son del 25% y del 20%, como efecto causal sobre los defectos en la producción, respectivamente.

Tabla 4. Uniformidad y diversidad promedio de iluminación

Unidades muestreadas	Estadística de regresión	
Unidad de producción 1	R múltiple	0.611
	R cuadrada	0.373
	R cuadrada ajustada	0.362
	Error estándar	2.296
	Observaciones	60
Unidad de producción 2	R múltiple	0.514
	R cuadrada	0.264
	R cuadrada ajustada	0.251
	Error estándar	1.982
	Observaciones	60
Unidad de producción 3	R múltiple	0.463
	R cuadrada	0.214
	R cuadrada ajustada	0.201
	Error estándar	2.747
	Observaciones	60

De la regresión de estas dos variables (Variable independiente como el nivel de iluminación y la variable dependiente como los errores producidos) los coeficientes muestran que, si se incrementa una unidad del nivel de iluminación, causa 0.009 unidades de defectos menos en los espacios de producción 1, 0.007 unidades de menos defectos para el espacio de producción 2 y 0.005 unidades menos de defectos para el espacio de producción 3, tal y como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5. Uniformidad y diversidad promedio de iluminación

Unidades muestreadas	Variables dependiente e independiente	Coefficientes (Valor B)	Error estándar	Estadístico t
Unidad de producción 1	Intersección con X de la variable 1	10.979 -0.009	1.154 0.002	9.518 -5.876
Unidad de producción 2	Intersección con X de la variable 1	8.157 -0.007	1.054 0.002	7.740 -4.563
Unidad de producción 3	Intersección con X de la variable 1	7.608 -0.005	0.992 0.001	7.669 -3.975

En términos de porcentaje se puede decir que, incrementando 10 unidades de iluminación, se causa un 9% menos defectos en los espacios de producción 1, 7% menos defectos en los espacios de producción 2 y 5% menos defectos en los espacios de producción 3.

CONCLUSIONES

Se hacen las siguientes recomendaciones para mejorar los ambientes de iluminación en la industria maquiladora del municipio de Teziutlán, Puebla.

- Los niveles de iluminación en los planos de trabajo deben estar entre los 600 a 800 luxes, especialmente en las áreas a donde se está haciendo uso de máquinas de coser, interactúan los ayudantes y o se tienen áreas para el control de calidad.
- Debido a que los niveles de iluminación y los defectos en la producción tienen una correlación lineal negativa, niveles bajos de iluminación deben ser evitados.
- Resultado de esta investigación se ha descubierto que alrededor del 21 al 37% de las condiciones de iluminación tiene un efecto causal sobre la capacidad de producción efectiva en los trabajadores.
- Es necesario tomar en consideración otros aspectos tales como temperatura o estado psicológico del operario durante la evaluación del desempeño de los trabajadores para futuros trabajos.
- La distribución de las luminarias debe estar diseñada por ingenieros o arquitectos antes de instalarse considerando también permitir el paso de la luz exterior con la finalidad de asegurar que esta incida en cualquier plano del área de trabajo horizontal para un diseño de flujo de producción flexible.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. E. Martínez de Ica, G. Sánchez Daza y G. Campos Ríos, *La industria maquiladora de exportación en el estado de Puebla, Puebla, Puebla: BUAP, 2018.*
- [2] G. Mundo, «El sol de Puebla,» 18 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/estado/parada-produccion-de-maquiladoras-en-teziutlan-puebla-economia-finanzas-pandemia-covid19-coronavirus-crisis-economica-6122511.html>.
- [3] I. Rodríguez, «El sol de Puebla,» 26 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.business-humanrights.org/es/%C3%BAltimas-noticias/m%C3%A9xico-denuncian-malas-condiciones-laborales-y-agresiones-contra-trabajadores-en-maquilas-en-tehuac-%C3%A1n-puebla/>.
- [4] H. Hernández, *Optimización de las condiciones ambientales de iluminación en el área de producción para la industria maquiladora, Teziutlán, Puebla: ITST, 2021.*
- [5] F. Urrutia, *Evaluación de riesgos por ruido, iluminación y material particulado en la fábrica de carrocerías Master Metal, Ambato, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2017.*
- [6] M. Quinto, *Propuesta de la Planificación, Programación y Control de la Producción en el Área de Es-*

tampado de la Empresa Comercializadora KETER S.A. de C.V., Teziutlán, Puebla: ITST, 2020.

[7] Kumara, *Investigación sobre los niveles de luz adecuados al coser en empresas maquiladoras*, Sri Lanka, Sri Lanka: Universidad de Moratuwa, 2018.

[8] InfoMaquila, «InfoMaquila,» 3 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.infomaquila.com/directorio/Pueblaold.html>.

[9] C. Ramírez, *Estudio de una empresa de iluminación, propuesta y análisis de mejoras*, Madrid, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2019.

[10] Volnort, «volnort,» Sabado Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.volnort.com/files/files/Luxometro-AEMC-modeloCA811.pdf>.

[11] M. Cabeza, «Redalyc,» 13 Junio 2008. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545878003.pdf>.

[12] NOM, «NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo,» 6 Marzo 2008. [En línea]. Available: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-025.pdf>.

[13] J. J. Beltrán, «Niveles de iluminación y su relación con los posibles efectos visuales en los empleados,» *Movimiento Científico*, pp. 31-37, 2013.

[14] M. G. Obregón, «Impacto Del Factor Iluminación Y Psicosocial En El Desempeño Laboral Del Personal De Apoyo Y Asistencia A La Educación. Caso: UPI-ICSA,» *European Scientific Journal*, p. Febrero, 2018.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Sistema de estandarización mediante buenas prácticas de manufactura en una industria productora de alimentos balanceados

RESUMEN: Se implementó un Sistema de Estandarización mediante Buenas Prácticas de Manufactura con el propósito de sentar las bases de certificación por las unidades de verificación aprobadas por la SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) a través del SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). Primeramente, se realizó una evaluación diagnóstica de 431 reactivos segmentados en nueve numerales que contienen los puntos de identificación con respecto al instrumento de verificación MB-PMN-NOV-19 (Manual de Buenas Prácticas de Manufactura-noviembre-2019) validado por SADER. Posteriormente se analizó y adecuó los requisitos reales con respecto a la norma. Subsecuente a ello, se realizó un VSM (mapa del flujo de valor) inicial para visualizar, analizar e identificar las actividades clave de la empresa. Posteriormente se propuso un orden jerárquico en la implementación de las BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) en sus manuales de proceso mediante la ISO 9001-2015 como del marco referencial de gestión de riesgos de la ISO 31000. Se documentó y estandarizó las medidas de control base en la ejecución de los procesos como en las medidas de control de calidad sensibilizando al personal mediante el ciclo de Deming y circunscribiendo al sistema en acciones correctivas con enfoque a la mejora continua. Creando y documentando los procedimientos sobre; calidad, calificación de personal, limpieza, higiene, control de plagas y trazabilidad, considerando los requisitos solicitados por las normas; ISO, BPM y SENASICA, observando así un incremento significativo en tales numerales.

PALABRAS CLAVE: Sistema, Estandarización, VSM, BPM, ISO 9001, ISO 31000. Verificación Certificación.



Colaboración

David Iván Sánchez López; Marcos Salazar Medina; Fernando Aguirre y Hernández; Guillermo Cortés Robles; Nuria Ortega Petterson, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba

Fecha de recepción: 09 de agosto de 2021

Fecha de aceptación: 04 de febrero de 2022

ABSTRACT: A Standardization System through Good Manufacturing Practices was implemented with the purpose of laying the foundations for certification by the verification units approved by SADER (Ministry of Agriculture and Rural Development) through SENASICA (National Service of Health, Safety and Agrifood Quality). First, a diagnostic evaluation was carried out of 431 reagents segmented into nine numerals that contain the identification points with respect to the verification instrument MBPMN-NOV-19 (Manual of Good Manufacturing Practices-November-2019) validated by SADER. Subsequently, the actual requirements with respect to the standard were analyzed and adapted. Subsequently, an initial VSM (value stream map) was carried out to visualize, analyze and identify the key activities of the company. Subsequently, a hierarchical order was proposed in the implementation of GMP (Good Manufacturing Practices) in its process manuals through ISO 9001-2015 as well as the ISO 31000 risk management framework. The basic control measures in the execution of the processes and in the quality control measures were documented and standardized, sensitizing the staff through the Deming cycle and circumscribing the system in corrective actions with a focus on continuous improvement. Creating and documenting procedures on; quality, qualification of personnel, cleanliness, hygiene, pest control and traceability, considering the requirements requested by the standards; ISO, BPM and SENASICA, thus observing a significant increase in such numbers.

KEYWORDS: System, Standardization, VSM, BPM, ISO 9001, ISO 31000. Verification Certification.

INTRODUCCIÓN

La estandarización en las industrias manufactureras, siempre ha sido un factor de referencia mundial, tanto para gobiernos, productores y consumidores, en ese sentido se han creado, modificado, incentivado modelos de gestión, normativas, teorías administrativas como prácticas metodológicas específicas tales como las Buenas Prácticas de Manufactura exigidas por la SADER a través del SENASICA, lo anterior se intensifica por la participación del sector alimenticio en la economía de las naciones, tan solo por ejemplificar, de acuerdo a un análisis económico de la Industria de Alimentos y Bebidas en México, la industria alimentaria representa más del 23% del PIB de la industria manufacturera, y más del 3.69% del PIB nacional, volviendo a la industria alimentaria mexicana como el tercer mayor productor de alimentos procesados en América [1]. A su vez, la financiación, la producción, el consumo como también la demanda en los sistemas productivos, exige ser mayormente inclusivos, flexibles y receptivos [2]. Sin embargo, cualquier tipo de exigencia, modificación y/o adecuación a los sistemas, será irrealizable si no se sabe exactamente en qué punto se halla la industria ya sea en cuanto a proceso o producto. Citando al ingeniero Taiichi Ohno, precursor clave del Lean Manufacturing, "si no hay estándar, no hay mejora", se refiere al hecho de crear ventajas competitivas trascendentes al simple orden y limpieza, especialmente busca obtener un orden interno, que no es otra cosa que la estandarización de procesos [3]. Al momento de carecer de un sistema estandarizado, se podrán denotar inconsistencias al momento de la realización de un determinado proceso, afectando directamente los tiempos de procesos, la productividad, al aseguramiento de la calidad, a la seguridad del personal, a los costes en general, al aumento de insumos desperdiciados, como al entorpecimiento de la mejora continua [4]. Cuestiones similares se presentan en la empresa estudiada, carece en gran medida de un sistema de estandarización tanto en sus procesos, como en sus productos, sumado a la falta de herramientas o metodologías prácticas obligatorias de certificación tales como las BPM, así también la alta variabilidad en el mix de sus 150 productos impactan negativamente a la calidad general de los mismos, problema que inicia desde la recepción de materias primas y se extiende a lo largo de toda la cadena de valor de la empresa circunscrita. Asimismo, la empresa carece de un departamento encargado de gestionar directamente procedimientos de fabricación, limpieza, desinfección, manipulación, controles, registros, programas de almacenamiento, en áreas clave como: molienda, dosificado, paletizado, micros, mantenimiento a planta, ensacado hasta embarques, aludiendo al hecho que 90% del trabajo realizado es manual y/o empírico. Lo anterior incide directamente en la Sanidad, Inocuidad y Calidad respectivamente, sobre todo al momento de reformulación en donde el producto sufre modificaciones organolépticas y de no realizarse adecuadamente

podría provocar rechazos de tipo ya sea primario, secundario o de reproceso. Se determinó el grado de cumplimiento con base a la guía de verificación para el cumplimiento de las BPM certificada por SADER a través de SENASICA [5]. Se implementaron las BPM en los manuales de procesos y procedimientos en las áreas determinadas por el VSM, llevándose a cabo pruebas para lograr la adecuada implementación. Se capacitó al personal en los nuevos procedimientos. Al final, se evaluaron los resultados obtenidos después de la implementación de las acciones correctivas con enfoque a la mejora continua.

MATERIAL Y MÉTODOS

Generalidades.

La empresa para la aplicación del presente trabajo es una productora y distribuidora de alimentos balanceados para animales, tales como; cerdo, caballo, aves, conejo y ganado. El trabajo comprende mejoras en los procesos de producción de bienes y servicios, mediante la estandarización de métodos, técnicas administrativas, de control, procedimientos de fabricación, limpieza y desinfección, higiene personal, manipulación, controles, registros, almacenamiento, que garantizarían tanto la calidad como la seguridad alimentaria (inocuidad) del producto semielaborado y terminado.

Metodología.

Análisis de cumplimiento inicial.

- Con base a la guía de verificación para las BPM en la Industria de Alimentos para Consumo Animal certificada por la SADER a través de SENASICA, se establecerán los parámetros iniciales.
- Adecuar los requisitos descritos en la guía de verificación de las BPM certificadas por la SADER a través de SENASICA, en función a los parámetros establecidos, para determinar el grado de cumplimiento inicial.
- Realizar un mapeo primario de valor mediante el software "WonderShare EdrawMax Versión Evaluación", para identificar las áreas y funciones clave a mejorar en los manuales de procesos respectivos.

Implementación de las BPM en manuales de procesos.

- Elaborar los formatos, POE, POE's, Check List, instructivos de trabajo, programas, registros, en función al manual de Buenas Prácticas de Manufactura en la Industria de Alimentos para Consumo Animal entrada en vigor el 01 de noviembre del año 2019, certificada por la SADER a través del SENASICA.

Aplicación de Prueba Piloto.

- Seleccionar las áreas idóneas para la aplicación de la prueba piloto.
- Realizar un análisis de: tiempos, personas, recursos, para la realización de un programa de capacitación.
- Capacitar a gerencia y a operadores en relación a los nuevos manuales de procedimientos.
- Análisis de datos.

Mejora Continua.

- Evaluar las variables cómo los parámetros establecidos en el diagnóstico con respecto al sistema de estandarización implementado, mediante métodos de medición y comparación utilizando la guía de verificación aprobada por la SADER a través del SENASICA.
- Seguimiento y monitorización enfocado a la mejora continua.

RESULTADOS.

Diagnóstico en función a la Guía de Verificación del MBPM-ALIMENTOS-EDICNOV_2019.

En la Tabla 1, se enlistan los numerales con respecto a los puntos a verificar establecidos por la guía de verificación enunciada. De tal manera que los reactivos evaluados y adecuados suman un total de 431. Los resultados se obtuvieron mediante escala dicotómica: "Cumple" o "No Cumple;" en donde participaron: alta dirección, gerentes de departamento, jefes de área y/o coordinadores.

Tabla 1. Análisis Ponderado de Reactivos.

Numeral	Punto(s) de Identificación	Ítems Norma	Porcentaje de Cumplimiento
1	Calidad	37	35.14%
2	Documentación Soporte	84	26.19%
3	Calificación del Personal	8	25.00%
4	Instalaciones y Servicios	77	71.42%
5	Limpieza, Higiene y Control de Fauna Nociva	83	50.60%
6	Control de Proceso y Fabricación	95	62.10%
7	Trazabilidad	19	26.31%
8	Alimentos Medicados	9	77.77%
9	Premezclas	19	62.10%

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se aplica un mapeo primario de valor, con el objetivo de visualizar, analizar y entender el flujo de información como de los procesos que enfrenta el mix de los 150 productos que elabora la empresa. En la Tabla 2, se priorizan aquellos productos con mayor número de ventas, determinados a partir de un análisis de productos de una muestra de seis meses marzo-agosto.

Tabla 2. Análisis de Productos.

Producto	Eficiencia	Mezcla Total
Creciave-pop	68.11%	354
Engordave-pop	73.37%	305
Gallo verde	76.80%	256
Pollazo	74.41%	227
Pone-huevo	76.63%	194
Gallo rojo	65.00%	151

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1, se observa el mapeo de flujo de valor, en donde se identifican las actividades clave del proceso para la implementación prioritaria de las B.P.M en función del análisis ponderado de reactivos como de la familia de productos con mayor número de ventas; recepción de materia prima, dosificado, mezclado, peletizado, triturado, ensacado, embarques. Identificando y calculado el takt time de 3.45 hora para creciave-pop (por volumen de venta) y estableciendo indicadores; TC, CPC, Td, TF al tiempo que se identificaban problemas como fallo en las características organolépticas, falta de procedimientos estandarizados, alta variabilidad.

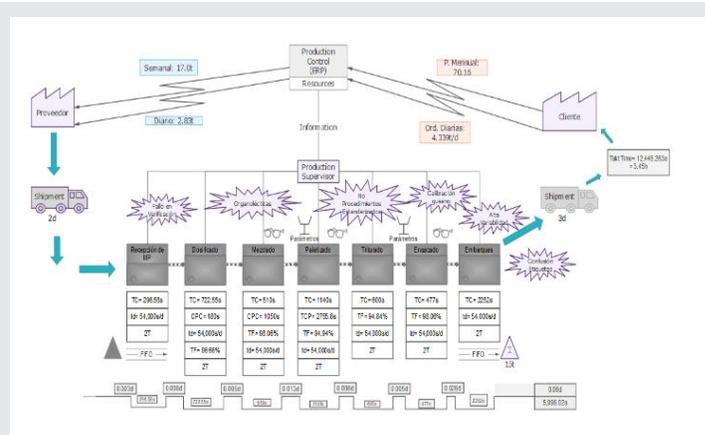


Figura 1. Value Stream Mapping de una Industria Productora de Alimentos Balanceados S.A de C.V

Fuente: Elaboración Propia.

Implementación de las BPM en manuales de proceso.

En la Figura 2, se detalla el nivel jerárquico en la implementación del sistema de estandarización. Dichos procedimientos se realizaron en función a la metodología de "Elaboración de Procedimientos" ISO 9001-2015 [6].



Figura 2. Jerarquización Sistemática en la Implementación de BPM en una Industria Productora de Alimentos Balanceados.

Fuente: Elaboración Propia.

Se reestructura el Sistema de Gestión de Calidad en función a la ISO 9001-2015. Se rediseña la matriz de responsabilidades y se propone e implementa una nueva política de calidad al tiempo que se crean nuevos indicadores.

Se diseña e implementa: Procedimiento para la Elaboración de Documentos, Procedimiento para Control de Documentos y Procedimiento para el Control de Registros. Mismos que por normatividad ISO 9001-2015 & MBPM-NOV-19, integra: fecha de emisión, revisión, clave o código, paginado, responsable y firma como encabezados principales. Posteriormente se enuncia: Objetivo, Alcance, Referencias, Definiciones, Puestos con Responsabilidad Asignada, Seguridad, Método, Modificaciones, Cambio de Versión y Registros de Actualización.

Asimismo, se implementa en su Sistema de Gestión, el procedimiento para la realización de análisis morfológico como método de evaluación prospectiva requerido por las unidades de certificación, de tal manera que la empresa productora de alimentos balanceados mediante el análisis de las partes que conforman ya sea un cambio de producto, una reformulación, modificaciones en las características de micros o cambio de materia prima puedan aislarlos en atributos que proporcionen nuevas posibilidades y crear así una matriz morfológica, mismos que se identificaran, pondrán y analizarán mediante un sustento tanto metodológico como bibliográfico no mayor a cinco años.

Prueba Piloto.

En la Tabla 3 se detallan las medidas de control con respecto a la ejecución de procesos dictado por el numeral de certificación dentro de Sistemas de Calidad, en donde se estandariza el procedimiento pertinente con respecto a su método o límite permitido de productos específicos en áreas clave delimitadas. En la Tabla 4 se documentan y estandarizan las medidas de control base con respecto a la calidad de los productos o márgenes permitidos fungiendo como medidas para liberación de lote, detección e investigación de posibles desviaciones e implementación de acciones respectivas que puedan disminuir sus probabilidades de ocurrencia.

Tabla 3. Medidas de Control - Ejecución de Procesos

Procedimiento	Métodos / Límites Estandarizados	Productos Específicos	Área(s)
Análisis de Eficiencia	6 t/h	3/16	Paletizado
	3.4 t/h	1/8	
Registro de Dosificado	Tiempo Estándar Asignado por producto	Harinas	Dosificado
Análisis de Ensacado	Plan de Producción p./d	PT	Ensacado
Tablero Kanban Micros	Formulación p./d	Micros / Proteína	Micros
Registro de Amperes x Molienda	Amperes/producto	Todos Excepto; Soya, Salvadillo, Canola, Pulido 10 y 14, alfalfa, DDG, Palmiste.	Molienda
Identificación de Fugas	Check List		Molienda

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Medidas de Control - Calidad de Productos.

Procedimiento	Métodos / Límites Estandarizados	Productos Específicos
Análisis de Materia Prima	Método de Cuarteo	MP
	Método Peso Específico	
Análisis de Características Organolépticas	Comparación con Parámetros; Visuales, Color, Olor.	Producto Semielaborado y Terminado
Registros de Humedad por Producto	12.00%	Todos los productos (incluyendo harinas)
Registro de Finos	25.00%	Migaja
	5.00%	Pelet
Determinación de grados Brix	≥ 83°	Melaza
Muestras de Retención	6 meses retención	PT / MP
Plan Control / Validación	c/15 días envío	MP recibidas

Fuente: Elaboración propia.

En ese sentido, para coadyuvar y controlar la gestión de riesgos a nivel estratégico como operativo se diseña e implementa un Sistema de Gestión de Riesgo Empresarial con marco referencial a la ISO 31000 [7], estableciendo las fases elementales normalizadas para su aplicación a través del método Mosler y la conformación paulatina de mapas de riesgos.

Se diseña e implementa un Programa Maestro de Limpieza y Desinfección, que contempla procedimientos con respecto a; generalidades, manipulación, condición de operario, limpieza de equipos, inspección por atributo, identificación de sustancias, requisitos visitantes, preparación de mezclas. Con respecto al numeral control de plagas, se diseña procedimiento de recorrido control, con check list de inspección e implementación de buzón de plagas con hoja reporte respectiva. Se implementan las BPM en áreas clave de procesos identificadas mediante el mapeo de valor, obedeciendo a las directrices planteadas en la conformación de procedimientos operativos estandarizados que irán integrando paulatinamente el Listado Maestro de Documentos y el Listado Maestro de Registros, con una captación del sistema tanto dinámica como flexible para futuras modificaciones. En la Tabla 5, se detalla la sensibilización del personal en general en el nuevo Sistema de Estandarización alineado a las BPM mediante el ciclo de Deming y se inicia el proceso de capacitación dividido en dos etapas, la primera dirigida estratégicamente; Alta Dirección y Gerencia. Posteriormente a jefes de departamento y operarios.

Tabla 5. Plan de Acción - Sistema de Estandarización mediante BPM.

Plan de Acción Proyecto de Certificación de Buenas Prácticas de Manufactura							
				Mes	1	2	3
N°	Qué	Quién	Cómo	Semana			

Fuente: Elaboración propia.

Mejora continua.

En la Tabla 6, se verifica, evalúa y compara los resultados del diagnóstico inicial con respecto a la prueba piloto una vez implementado el Sistema de Estandarización mediante Buenas Prácticas de Manufactura.

Tabla 6. Análisis Final ponderado de reactivos evaluados.

Numeral	Punto(s) de Identificación	% Cumplimiento
1	Calidad	91.89%
2	Documentación Soporte	90.48%
3	Calificación del Personal	75%
4	Instalaciones y Servicios	71.43%
5	Limpieza, Higiene y Fauna Nociva	86.75%
6	Control de Proceso y Fabricación	87.37%
7	Trazabilidad	68.42%
8	Alimentos Medicados	88.89%
9	Premezclas	78.95%

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 1, se observa el porcentaje de cumplimiento inicial con respecto al porcentaje de cumplimiento final, referenciando a los numerales como puntos de identificación respectivos. Se propone una integración al Sistema de Gestión de Calidad capitulado, referenciado y de fácil localización – modificación al momento de integrar de manera inmediata mediante un proceso estandarizado tanto al Listado Maestro de Documentos como el de Registro en función a los 431 ítems que conforman que la norma de BPM.

CONCLUSIONES

Se observa un incremento significativo en numerales de Calidad, Documentación Soporte, Calificación del Personal, Limpieza, Higiene y Control de Fauna Nociva y Trazabilidad principalmente, refiriéndose estrictamente a cuestiones de la normatividad de Buenas Prácticas de Manufactura, citando por ejemplo “Control de Proceso y Fabricación”, el cual se elevó a un porcentaje de 87.37% con respecto al 62.10%, refiriéndose a las; directrices como métodos, procedimientos operativos estandarizados, registros, y secuencia lógica de aplicación, más aún cabe mencionar el control estadístico de procesos aún posee áreas de oportunidad que podría estudiarse en próximos trabajos y que podría impactar de manera positiva al resto de los numerales.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Bradstreet, C.d. (2018). Análisis de la Industria de Alimentos y Bebidas. Obtenida el 16 de mayo de 2020, de la página electrónica: https://www.ciald-nb.com/pdf/economic-analysis/food-and-beverages/MEX_Economic-Analysis_ES.pdf

[2] United Nations. (2019). Department of Economic and Social Affairs, Economic Analysis. Obtenida el 07 de junio de 2020, de la página electrónica: <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/situacion-y-perspectivas-de-la-economia-mundial-en-2019-resumen-ejecutivo/>

[3] Martínez., J.A. (2016). La estandarización de los procesos: garantía del éxito industrial. Obtenida el 09 de junio de 2020, de la página electrónica: <https://www.alborum.com/la-estandarizacion-los-procesos-garantia-exito-industrial/>

[4] Gamut. (2011). Gestión de Procesos. ¿Por qué estandarizar? Obtenida el 21 de julio de 2020, de la página electrónica: http://www.gamut.com.ar/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=603

[5] Beatriz Beltran. (2020). Gob.Mx. Manual de Buenas Prácticas de Manufactura para consumo animal. Obtenida el 16 de abril de 2020, de la página electrónica por parte del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad, y Calidad Agroalimentaria>- Documentos: <https://www.gob.mx/cms/uploads/>

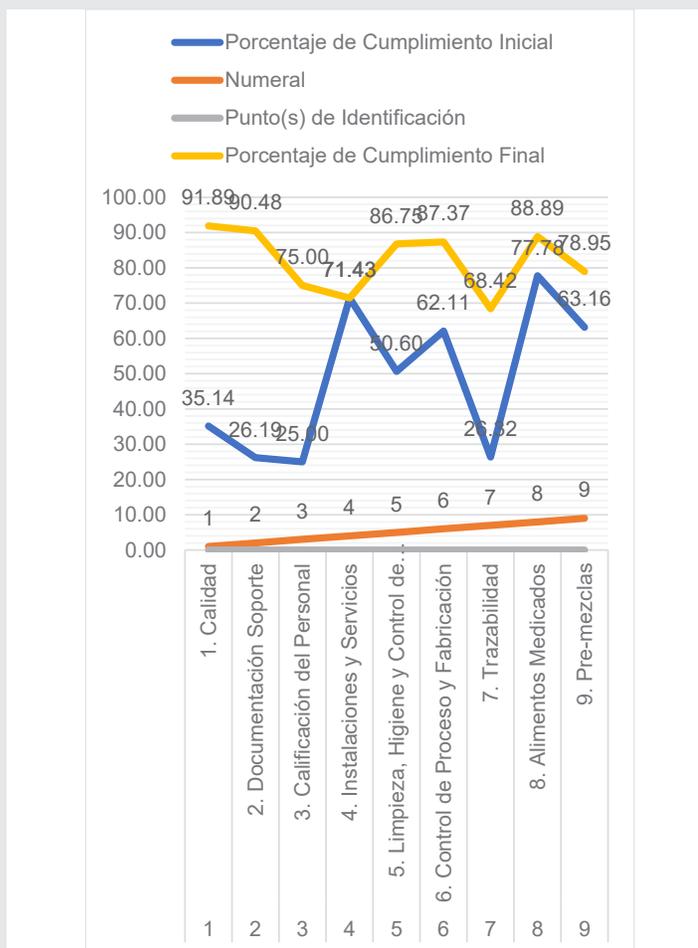


Gráfico 1. Comparación de Resultados Antes y Después de Implementación. Fuente: Elaboración propia.

attachment/file/503904/MBPM_ALIMENTOS_EDICI_N_NOV_2019.pdf

[6] International Organization for Standardization. (2015). *Guidance on the requirements for Documented Information of ISO 9001:2015*. Obtenida el 08 de octubre de 2020, de la página electrónica (available): https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/documented_information.pdf

[7] Online Browsing Platform OBP. (2018). *ISO 31000:2018 Gestión del riesgo – Directrices*. Obtenida el 26 de noviembre de 2020, de la página electrónica: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Evaluación térmica en mezclas de mortero a base de cemento, arena y caucho granulado



Colaboración

Diana Carolina Álvarez García; José Fidel Navarro Arellano; Luis Aarón García Solórzano; Tecnológico Nacional de México / Campus Colima; Jorge Armando Ojeda Sánchez, Universidad de Colima

Fecha de recepción: 29 de enero de 2022

Fecha de aceptación: 11 de mayo del 2022

RESUMEN: Hoy en día se busca contribuir al medio ambiente, a partir de la utilización o aplicación de materiales reciclados. En los últimos años el Caucho granulado a generando grandes expectativas, figurando en el desarrollo de nuevos productos. Esta investigación tiene como objetivo el incluir este material en mezclas de mortero de cemento-arena en distintas proporciones, permitiendo evaluar y determinar la mezcla con mejor desempeño aislante. Las mediciones térmicas a las mezclas propuestas se realizaron con el dispositivo “KD2 PRO” Thermal Properties Analyzer, obteniendo información del calor específico, conductividad, resistividad y difusividad térmica de cada mezcla. Los resultados arrojados por los prototipos arrojaron un promedio en conductividad de 0.227 W/m.K, catalogando a las mezclas propuestas como medianos aislantes, donde la mezcla M3 es la que logró un mejor desempeño aislante contemplando todas sus características térmicas.

PALABRAS CLAVE: Caucho Granulado, Comportamiento Térmica, Mezcla, Reciclado, Innovación.

ABSTRACT: Today Today we seek to contribute to the environment, from the use or application of recycled materials. In recent years, granulated rubber has generated great expectations, appearing in the development of new products. The objective of this research is to include this material in cement-sand mortar mixtures in different proportions, allowing the evaluation and determination of the mixture with the best insulating performance. The thermal measurements of the proposed mixtures were carried out with the “KD2 PRO” Thermal Properties Analyzer device, obtaining information on the specific heat, conductivity, resistivity and thermal diffusivity of each mixture. The results obtained by the prototypes showed an average conductivity of 0.227 W/m.K, classifying the proposed mixtures as medium insulators, where the M3 mixture is the one that achieved the best insulating performance considering all its thermal characteristics.

KEY WORDS: Granulated Rubber, Thermal Behavior, Blend, Recycling, Innovation

INTRODUCCIÓN

Debido al alto crecimiento automotriz, es cada día mayor la cantidad de neumáticos producidos y desechados a nivel mundial. Los neumáticos inservibles, cuya degradación natural puede demorar siglos, constituye uno de los problemas medioambientales más serios de los últimos años en el mundo. Deshacerse de forma limpia de los neumáticos inservibles no es fácil. La quema directa, por ejemplo, provoca la emisión a la atmósfera de gases y partículas nocivas, y como la combustión en hornos de alta calidad que garanticen un mínimo de emisiones tiene alto costo. [1]

La acumulación de neumáticos en vertederos también son un grave problema, pues estos llegan a liberar sustancias químicas al aire, al suelo y al agua, dando como consecuencia alteraciones en el ecosistema. Basta con dejar los neumáticos en el suelo durante un periodo prolongado para erradicar las bacterias beneficiosas del

suelo, las cuales son las encargadas de proveer de nutrientes a la flora y fauna en un ecosistema. [2]

En Colima los neumáticos desechados forman parte de la basura urbana, que, aunque no es considerado como residuo peligroso, es un problema grave en términos de disposición final, pues los grandes volúmenes encontrados en los rellenos sanitarios reflejan la importancia que tiene este material. Así mismo en el proceso de revitalizado de neumáticos existen también la generación considerable de este material triturado, pues simplemente en la ciudad de Colima la generación de llanta triturada asciende a 6 m³ semanales. [3]

En la industrial de la construcción se está en constante movimiento para idear nuevos materiales que reduzcan el impacto ambiental y aporten mejores cualidades como de aislamiento térmico, físico mecánicas, acústicas, entre otras. Mencionado esto, se busca ofrecer una alternativa al uso del caucho granulado, pudiéndose aplicar en diseños de mezclas en la construcción, para ver el comportamiento térmico que puede lograr, permitiendo dar un reúso a estos materiales desechos y dar una aportación a la reducción de contaminación ambiental.

El aislamiento térmico es la capacidad de un material para oponerse al paso de calor, en la construcción se ve reflejado entre la energía calórica que hay en el ambiente interior y exterior. [4]

Un buen aislamiento térmico en una edificación se traduce en el mejoramiento de calidad de vida de los usuarios, tanto en periodos de invierno (calefacción) como en verano (refrigeración). De aquí la importancia de los materiales con esta cualidad de aislante, permitiendo ahorros de energía, manteniendo climas con mayor confort.

Para determinar el grado de aislamiento térmico, la investigación se apoya en la conductividad térmica, donde según Cotrina [5], expone una tabla con una clasificación que de acuerdo a su conductividad se cataloga el grado de aislamiento que posee el material. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Clasificación de aislamiento según conductividad térmica del material.

Valor λ (W/m.K)	Clasificación
$0.024 \leq \lambda \leq 0.038$	Muy buenos Aislantes
$0.038 < \lambda \leq 0.16$	Buenos Aislantes
$0.16 < \lambda \leq 0.46$	Medianos Aislantes
$0.46 < \lambda \leq 1.62$	Malos Aislantes
$\lambda > 1.62$	Conductores

La finalidad de la investigación es conseguir una mezcla de mortero con el agregado de caucho granulado, analizando sus características térmicas y su grado de aislamiento, pudiendo generar expectati-

vas del posible empleo de este en el ramo constructivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caucho Granulado: El caucho granulado se obtiene de los neumáticos fuera de uso (NFU), este material se somete a un proceso de trituración, mediante unas máquinas trituradoras y de granulación de diferente capacidad, en ellas se separa el caucho del acero o la fibra textil. [6] El caucho sintético es un polibutadieno que se fabrica de forma artificial mediante reacciones químicas conocidas como polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Otro método al cual se somete el caucho sintético es la vulcanización, donde dicho material se calienta en presencia de azufre haciendo que conserve su elasticidad en frío o caliente. [7] El caucho tiene una densidad aproximada de entre 0.950 g/cm³ a 0 °C y 0.934 g/cm³ a 20 °C, considerándose un material ligero. [8]

Cemento: Los cementos producidos a partir de 1850 lo fueron con métodos modernos, moliendo la cal y la arcilla en un molino húmedo y calcinando la mezcla a temperaturas entre 1300 y 1500 °C. La caliza se convierte así en cal viva, que se une químicamente con la arcilla formando un clínker de cemento Portland. Después de volver a moler y calcinar, el clínker blanco caliente se deja enfriar y se añade una pequeña cantidad de yeso para prolongar el tiempo de fraguado. [9] El cemento portland es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor proporción, por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como bajo el agua. La densidad de este material es de 2.8 g/cm³. [10]

Arena: La arena es un tipo de agregado fino o árido que se utiliza para fabricar concreto y mortero; se compone de partículas de rocas trituradas que pueden ser muy pequeñas y finas o un poco más grandes dependiendo del uso para el que sea destinada. La arena tiene de densidad de 1.5 g/cm³.

Diseño de mezclas y prototipos:

Como sustento para un buen diseño de proporción de mezcla, se consideró emplear el utilizado en la fabricación de concretos por parte de la (Portland Cement Association) PCA, donde nos menciona que las proporciones de la mezcla para un metro cúbico de concreto se calculan usando el rendimiento de la mezcla (volumen) y la densidad [11]. Para efectos de prueba exploratoria de esta investigación se desarrollaron las proporciones de forma arbitraria, variando un 5% la cantidad en Caucho Granulado, un 2.5% en Cemento-Arena y manteniendo un porcentaje fijo en la cantidad de Agua para cada módulo. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Proporciones de probetas.

MÓDULO	MATERIALES %			
	AGUA	ARENA	CAUCHO GRANULADO	CEMENTO PORTLAND
M-1	20	45	20	15
M-2	20	37.5	25	17.5
M-3	20	30	30	20
M-4	20	22.5	35	22.5
M-5	20	15	40	25
M-6	20	7.5	45	27.5

La elaboración de la cimbra para realizar los prototipos, consistió en construir un módulo con capacidad para 3 probetas, con la finalidad de tener otras 2 muestras que permitan corroborar las mediciones de cada una de las mezclas propuestas en la tabla.

La fabricación de la cimbra está conformada por dos tablas de 50 x 10 cm con espesor de 2 cm, y 4 tablas de 10 x 10 cm del mismo espesor, una de las tablas de 50 cm, se segmenta de tal manera para que quede cupo a 3 secciones de 10 cm centrales, dejando 6 cm a los extremos, espacio destinado para fijar las anclas, segmentada la tabla se fijaron con dos tornillos las 4 tablas de 10 cm en segmentos asignados. Las anclas se fijaron al centro del espacio destinado a los extremos con una varilla de 25 cm con un espesor de 1/3", sujetándolas con dos turcas dejándolas fijas y de tipo mariposa en la cara que se va a retirar, posteriormente se procede a aceitar, con el propósito de evitar la hinchazón de la madera al entrar en contacto con la mezcla fresca, además de facilitar el desmolde de los especímenes. (Ver figura 1)

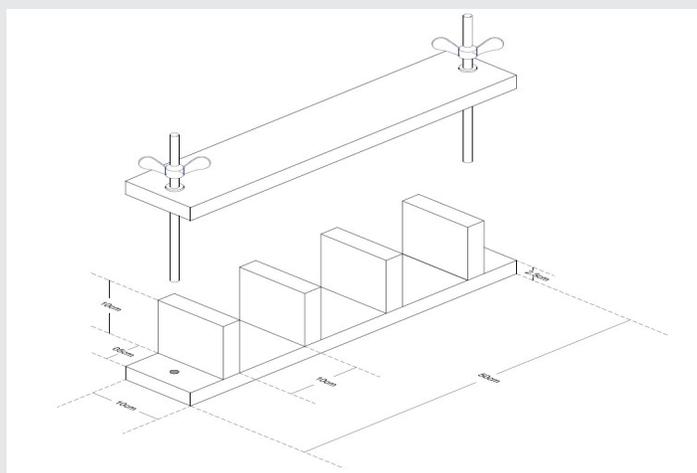


Figura 1. Isométrico de cimbra para prototipos.

Fabricada la cimbra, se realizarán las mezclas de acuerdo a los porcentajes indicados en la tabla, teniendo en cuenta la relación de volumen-densidad. Mencionado lo anterior el volumen se calculó multiplicando cada uno de los lados de un cubo de 10 cm, dando un subtotal de 1000 cm³, resultado que

se multiplicó por 3, dado que la cimbra contempla 3 especímenes. En cuanto al tema de la densidad de los materiales se realizó una sumatoria de cada uno dando un total de 5.82 g/cm³, realizada la sumatoria se dividió entre el número de materiales obteniendo un promedio, obteniendo el siguiente resultado 1.45 g/cm³.

La cantidad necesaria de mezcla es el producto de la multiplicación del volumen por la densidad, siendo 4.3 kg, a este resultado se contempla un 5% de desperdicio, dando una mezcla neta de 4.56 kg para la elaboración de 3 especímenes.

Conocida la cantidad de mezcla necesaria para realizar los especímenes se procede a realizar la sustitución de los porcentajes de acuerdo a este peso conseguido. Partiendo como ejemplo la Mezcla No1, donde se tiene 15% de Cemento, 45% de Arena, 20% de Caucho y un 20% de Agua, realizada la sustitución, se obtienen los siguientes valores, 680 g de Cemento, 2009 g de Arena, 912 g de Caucho y Agua, este proceso se repitió sucesivamente con cada una de las demás mezclas. Realizada la sustitución de las mezclas y conociendo la cantidad necesaria de cada material, se procede a pesar en una báscula electrónica cada material, contemplando además un recipiente para agregar los materiales secos y mezclarlos hasta homogeneizar, realizado este paso se vertió el agua requerida para ir mezclando hasta obtener una consistencia adecuada, por último, se vertió la mezcla en el molde, dejándose reposar de 10 a 12 horas para su desmolde. Este proceso se llevo a cabo repetidamente con el resto de las mezclas, y finalizando el proceso con un marcado de los especímenes para su correcta identificación. (Ver figura 2)



Figura 2. Proceso para generar la mezcla.

El instrumento contemplado para la medición térmica fue el KD2 PRO, del manual de este dispositivo se extrajo las dimensiones recomendadas de las probetas, siendo de 10 x 10 x 10 cm, dejando dos orificios al centro con una separación de 5 mm, con la finalidad de que por estos se inserte el sensor. (Ver figura 3) [12]

Tabla 4. Características Físicas.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
MÓDULO	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)	DENSIDAD (kg/m ³)
M-1	1.193	0.001	1193
M-2	1.163	0.001	1163
M-3	1.254	0.001	1254
M-4	1.200	0.001	1200
M-5	1.192	0.001	1192
M-6	1.142	0.001	1142

Los resultados de las mezclas con respecto al calor específico se aprecian en la gráfica 1, en la cual se observa que se obtuvo un promedio de 1.46 MJ/m³-K, con base a este valor obtenido se deduce que solo dos mezclas están sobre el promedio, siendo las mezclas M3 y M4, sin embargo la M4 es la de mayor valor, con una diferencia sobre el promedio de 0.44 MJ/m³-K y de 0.67 MJ/m³-K con respecto a la mezcla M5, siendo esta la de menor valor, por lo tanto la mezcla M4 muestra ser la que mayor capacidad tiene de absorber calor antes de elevar su temperatura.



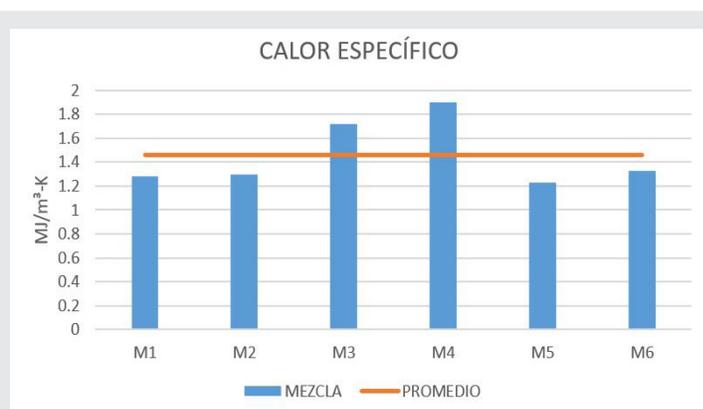
Figura 3. Proceso para medición con el instrumento KD2 PRO.

RESULTADOS

En la tabla 3 y 4 se observa toda la información recopilada de las pruebas térmicas, así como la composición de los prototipos, además de sus características físicas, la interpretación de los resultados se realizó en forma gráfica donde se observa la composición de los prototipos y el comportamiento en las pruebas térmicas.

Tabla 3. Características Térmicas.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS				
MÓDULO	CALOR ESPECÍFICO (MJ/m ³ -K)	CONDUCTIVIDAD (W/m-K)	RESISTIVIDAD (°C-cm/W)	DIFUSIVIDAD (mm ² /s)
M-1	1.285	0.207	483.7	0.161
M-2	1.295	0.22	455.4	0.17
M-3	1.718	0.209	477.5	0.122
M-4	1.902	0.255	391.9	0.134
M-5	1.232	0.261	383.2	0.212
M-6	1.324	0.21	477.2	0.158



Gráfica 1. Valores obtenidos de Calor Específico.

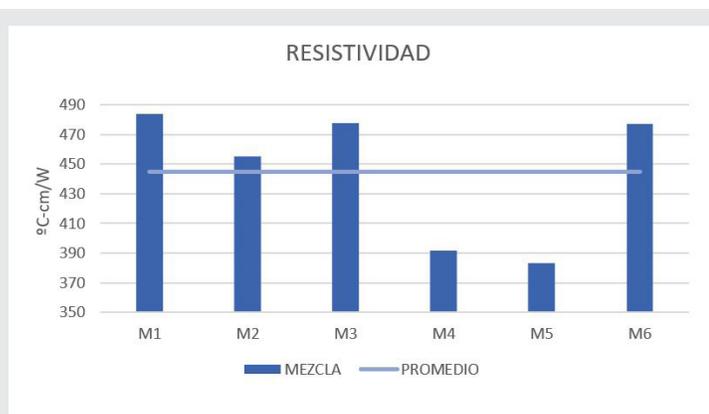
Los resultados de la siguiente característica térmica son los de conductividad, los cuales se pueden apreciar en la gráfica 2, donde al igual que la anterior figura de inicio se puede percatar una línea que representa el valor promedio de las mezclas, a simple vista se observa que nuevamente 2 mezclas están por encima del promedio, en este caso las mezclas M4 y M5, mientras que el resto de las mezclas se encuentran por debajo del valor promedio, de hecho la M1, M3 y M6 obtuvieron valores muy similares no abarcando una diferencia mayor a 0.003 W/m-K, sin embargo de estas tres mezclas la de menor valor es la M1 con 0.207 W/m-K. En la

tabla 1 se observó una clasificación de los materiales aislantes según su conductividad, por lo que las mezclas analizadas se encuentran en el grupo de medianos aislantes encontrándose en el rango de 0.16-0.46 W/m-K, siendo la M1 con una mayor capacidad de aislamiento térmico.



Gráfica 2. Valores obtenidos de Conductividad Térmica.

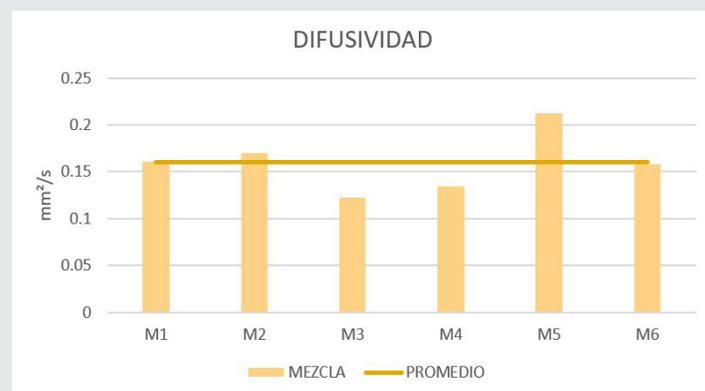
La resistividad térmica es la siguiente característica que se evaluó en las mezclas y se representan los resultados de esta en la gráfica 3. Los resultados muestran la capacidad de las mezclas para oponerse al flujo de calor, termino inverso al de conductividad. En este caso se observa que 4 mezclas se encuentran por encima del valor promedio y 2 por debajo, mostrando un comportamiento inverso de figura correspondiente a la de conductividad. La mezcla M1 es la que presenta mayor resistencia al paso del calor con un valor de 483.7°C - cm/W, mientras que los resultados de las mezclas M3 y M6 son parcialmente iguales con valores de 477.5 y 477.2°C - cm/W respectivamente. Con estos resultados se reafirma que estas 3 mezclas son las que mejor desempeño aislante poseen del grupo propuesto.



Gráfica 3. Valores obtenidos de Resistividad Térmica.

Por último, la evaluación de la característica de difusividad, mostrando la relación entre la capacidad

de almacenamiento de energía y la conductividad del material, describiendo cuán rápido las mezclas propuestas reaccionan a un cambio de temperatura. En la gráfica 4, se muestran los resultados de la difusividad térmica, al igual que las anteriores figuras se aprecia la una línea indicando el valor promedio de las mezclas, siendo este de 0.16 mm²/s. En este caso nuevamente nos encontramos con 2 mezclas por encima del promedio, sin embargo, ahora son las mezclas M2 y M5 con valores de 0.17 y 0.212 mm²/s respectivamente, por tanto, el resultado de la mezcla M5 muestra que la tasa de transferencia de calor es más rápida. En términos de aislamiento, la difusividad térmica del material deber ser mínima para que pueda resistir el máximo flujo de calor, por lo tanto, la mezcla M3 es la que mejor cumple con este requisito, teniendo un valor de 0.122 mm²/s, siendo el menor valor registrado de las mezclas.



Gráfica 4. Valores obtenidos de Difusividad Térmica.
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Las mezclas propuestas mostraron resultados alentadores en términos de aislamiento térmico de acuerdo a la clasificación por conductividad, entrando en la categoría de medianos aislantes, grupo que se encuentra en el rango de valores de 0.16-0.46 W/m-K. Tomando en cuenta las demás características evaluadas, la mezcla M3, es la que obtuvo el mejor desempeño aislante, dado que es la que presentó el segundo mayor resultado en el calor específico con 1.718 MJ/m³-K, siendo superado por la mezcla M4 apenas con 0.184 MJ/m³-K, no marcando una gran diferencia, por lo que la mezcla M3, indica que se requerirá de mayor energía para elevar su temperatura en comparación al resto de mezclas propuestas, asimismo se consideró la conductividad, donde también obtuvo el segundo mejor registro con 0.209 W/m-K, apenas con una mínima diferencia de 0.002 W/m-K con la mezcla M1, la cual obtuvo la mejor medición en esta característica, conjuntamente se contempló el resultado de la resistividad, logrando obtener un valor de 477.5 °C-cm/W, indicando ser una de las mejores mezclas, sin embargo la difusividad fue otro aspecto importante que

terminó por definir a esta mezcla en mi consideración como la mejor, pues presentó una respuesta de reacción de $0.122 \text{ mm}^2/\text{s}$, indicando que su tasa de transferencia de calor es más lenta.

Con los resultados en las características térmicas mencionados, la mezcla M3 es la que mejor comportamiento aislante presenta, además de analizar su composición en los materiales, donde maneja un balance de estos, se puede intuir que el caucho triturado parece haber tenido influencia en el material propuesto en las pruebas térmicas, dotando de las características propias de este material, pudiéndose pensar en posibles usos como recubrimientos y paneles, sin embargo, se sugiere continuar con la investigación y explorar sus características físico mecánicas para determinar otras posibles aplicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del área de Posgrado de Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana del Tecnológico Nacional de México campus Colima y al Laboratorio de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Colima, así como el apoyo del Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Vignart, J. M. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso, reciclado y posterior aplicación industrial y comercial*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

[2] Ecogreen. (21 de Enero de 2021). ecogreen. Obtenido de <https://ecogreenequipment.com/es/environmental-impacts-of-waste-tire-disposal/#:~:text=Simplemente%20sentado%20al%20sol%2C%20una,negro%20f%C3%B3xico%20en%20el%20aire.>

[3] Sepúlveda, V. J. (2007). *Elaboración y evaluación de un material a base de papel, cartón y caucho vulcanizado residual*. Universidad de Colima.

[4] Garrido, F. (2018). *Evaluación de las propiedades térmicas y mecánicas del mortero de cemento para estuco elaborado con cáscara de almendras*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Valparaíso. Chile: Recuperado de: <http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvscil/2573/GARRIDO%20D%C3%8DAZ%2C%20FERNANDA%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20f%C3%A9rmicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20del%20mortero%20de%20cemento%20para%20estuco%20elaborado.>

[5] Cotrina, S. (2019). *Conductividad Térmica y Permeabilidad del Mortero con sustitución del 15% de cemento por el polvo de Conchas de Abanico*

y Arcilla de Oquipampa-Carhuaz. Tesis de Licenciatura, Universidad San Pedro. Chimbote, Perú: Recuperado de: http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/11384/Tesis_61264.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[6] Diaz, A. M. (01 de 12 de 2019). *Propuesta para la elaboración de productos de caucho reciclado (CR), a partir de llantas recicladas para disminuir los niveles de contaminación en el barrio el Centro del municipio de Neiva - Huila*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/31134>

[7] Flores, D. (2013). Dialnet. Obtenido de *Diseño, fabricación, caracterización y aplicaciones constructivas de hormigones de consistencia seca con adiciones de materiales de procedencia orgánica e inorgánica de neumáticos fuera de uso (NFUs)*: http://oa.upm.es/21905/1/DARIO_FLORES_MEDI-NA.pdf

[8] Hernández, J. (Noviembre de 2018). *Diseño de un material ecológico para construcción mediante la adición de caucho de llanta al concreto*. Cuernavaca, Morelos, México.

[9] Álvarez, J., Martín, A., & García, P. (1995). *Historia de los morteros*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58839881/Historia-delosmorteros.pdf?1554816798=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHistoria_de_los_morteros_HISTORIA_DE_LOS.pdf&Expires=1605807364&Signature=APaX6OZBDmDjdZ5BDv2gJNrK6vo7iZuy0m4dbk3JGGTNse.

[10] Sanjuán, M., & Chinchón, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. San Vicente del Raspeig: Alicante, Universidad de. doi:978-84-9717-305-6

[11] Flores, C., Gúzman, J., Navarro, J., & García, L. (2020). *Comportamiento térmico en mezclas de cal hidratada, ceniza y roca volcánica (piedra pómez), en sustitución del cemento Portland*. Ingeniantes, 1(2), 55-60. doi:ISSN 2395-9452

[12] Decagon Devices, I. (2016). *KD2 Pro Thermal*. Obtenido de http://manuals.decagon.com/Manuals/13351_KD2%20Pro_Web.pdf



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Cambios morfológicos y bioquímicos por inoculación de Rizobacterias en la planta de chayote (*Shechium edules* Jacq Sw)



Colaboración

Janelive Duarte Ortiz, CBTa No.85; Norma Anabeli Coria Gil, Universidad Veracruzana / Campus Peñuela; Alondra Yajaira Sánchez Camarillo; Armando Domínguez Cervantes CBTa No.85; María Alva Ángel Lara; Universidad Veracruzana / Campus Peñuela

Fecha de recepción: 31 de julio de 2021

Fecha de aceptación: 21 de febrero 2022

RESUMEN: El experimento se realizó en la ciudad de Córdoba, Veracruz; usando cepas nativas de *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp., inoculadas en semillas de chayote en cinco tratamientos: Rhiz (*Rhizobium* 107 UFC/mL); Test-Rhiz (caldo YMA sin inocular); Azos (*Azospirillum* 107 UFC/mL); Test-Azos (caldo NFB sin inocular) y Rhiz-Azos (*Rhizobium*-*Azospirillum*). Durante 90 días, se evaluó el área foliar (AF), velocidad de crecimiento (VC), contenido de biomasa; así como la concentración de NH_4^+ , clorofila, ácido indolacético (AIA) y proteína.

Los resultados indican que *Rhizobium* incrementa el desarrollo radicular en 13%, la concentración de NH_4^+ en 76% y de AIA en 115%. Por otro lado, la cepa de *Azospirillum* favorece el desarrollo foliar y el contenido de clorofila (15-70%). Cabe resaltar que la inoculación simultánea con estas dos bacterias, manifiesta un efecto sinérgico positivo en la planta de chayote. En virtud de los resultados, es factible la creación un biofertilizante con estas bacterias, para ser usado en el cultivo de chayote con beneficios sustentables.

PALABRAS CLAVE: AIA, *Azospirillum*, Biofertilizantes, Chayote, Clorofila, Crecimiento, NFB, PGPR, *Rhizobium*.

ABSTRACT: The experiment was carried out in the city of Córdoba, Veracruz; using native strains of *Rhizobium* sp. and *Azospirillum* sp., inoculated in chayote seeds in five treatments: Rhiz (*Rhizobium* 107 CFU/mL); Test-Rhiz (YMA broth without inoculation); Azos (*Azospirillum* 107 CFU/mL); Test-Azos (NFB broth without inoculation) and Rhiz-Azos (*Rhizobium*-*Azospirillum*). During 90 days, leaf area (AF), growth rate (VC), biomass content were evaluated; as well as the concentration of NH_4^+ , chlorophyll, indoleacetic acid (IAA) and protein.

The results indicate that *Rhizobium* increases root development by 13%, the concentration of NH_4^+ by 76% and IAA by 115%. On the other hand, the *Azospirillum* strain favors foliar development and chlorophyll content (15-70%). It should be noted that the simultaneous inoculation with these two bacteria shows a positive synergistic effect on the chayote plant. Based on the results, it is feasible to create a biofertilizer with these bacteria, to be used in chayote cultivation with sustainable benefits.

KEYWORDS: *Azospirillum*, biofertilizers, chayote, chlorophyll, growth, IAA, NFB, PGPR, *Rhizobium*.

INTRODUCCIÓN

Actualmente es de suma importancia identificar tecnologías que funcionen como una alternativa viable, dentro de un régimen sustentable y sostenible. Ya que algunas prácticas agrícolas comunes como el uso irracional de agroquímicos, han incrementado los problemas de salud, generan altos costos en la producción y el deterioro en los suelos.

En este sentido, los biofertilizantes o inoculantes microbianos se han descrito como preparados de microorganismos y consi-

derados como "biotecnologías apropiadas"; dado que, son capaces de contribuir al desarrollo sostenible de la agricultura. Además proveen beneficios tangibles a los productores puesto que pueden sustituir de forma parcial o total la fertilización sintética [2] [38]. México es un ejemplo del impacto positivo del uso de biofertilizantes en los años 70's y 80's [5].

En este contexto, los agentes microbianos usados para la creación de estas biotecnologías se clasifican de acuerdo a los beneficios que generan en los cultivos. Por un lado, están las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal o también llamadas PGPR (por sus siglas en inglés Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Por otra parte, se encuentran las bacterias que fijan biológicamente el nitrógeno atmosférico, conocidas con las siglas FBN (Fixation Biology of Nitrogen).

Las PGPR al ser aplicadas a los cultivos, cuentan con mecanismos de acción muy variados, sus beneficios están relacionados con varios procesos fisiológicos y se clasifican en mecanismos directos e indirectos [3] [11] [32] [37] [38].

Los mecanismos directos: son aquellos procesos donde los metabolitos sintetizados por las bacterias son reguladores de crecimiento; por ejemplo, la producción de fitohormonas; o también, aquellos que intervienen directamente en la absorción de Nitrógeno y en la solubilización de nutrientes como el Cobre, el Hierro o el Fósforo [5] [6] [11] [33] [35] [44]. En cambio, los mecanismos indirectos: son aquellos que contribuyen en la inducción de la resistencia sistémica a fitopatógenos; como la producción de antibióticos [42], sideróforos [3], enzimas líticas como glucanasas y quitinasas [39], incluso son capaces de incrementar la tolerancia al estrés biótico y abiótico [3].

En consecuencia es factible su uso como parte primordial en la formulación de los biofertilizantes; no obstante, es importante elegir los microorganismos más adecuados con base en su capacidad para penetrar y establecerse en los tejidos vegetales.

En el grupo de las PGPR y NFB, destacan los microorganismos de los géneros *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp., *Beijerinckia* sp. y *Klebsiella* sp., que son catalogados como organismos de vida libre [5] [3]; por otro lado, están los agentes microbianos que poseen la capacidad de formar relaciones asociativas o simbióticas con las plantas y generar la formación de nódulos radiculares. En este grupo destacan los géneros *Rhizobium* sp., *Azorhizobium* sp., *Bradyrhizobium* sp., *Actinomycetos* y *Frankia* sp. [10]. En este contexto, se ha comprobado que su efectividad en campo se incrementa al usar cepas nativas, por estar adaptadas a las condiciones del suelo de cada región [5].

De forma muy particular, la inoculación en los cultivos con las bacterias del género *Azospirillum* sp., incremen-

tan la masa radicular, que origina una mayor superficie de contacto con el suelo y en consecuencia, favorece la absorción de agua y nutrientes [30] [31] [34]. Estos efectos son dependientes de la concentración del inóculo y cantidad de ácido indolacético (AIA) secretadas por *Azospirillum* sp. [30]. También, son capaces de fijar de 20-60 kg de N/ha/año [24]. Como ejemplo, se reporta los efectos de *Azospirillum* en los cultivos de soya [8], arroz [1] [14] [20], chile jalapeño [48] y cebolla [49], donde destacan los incrementos en la acumulación de nitrógeno. Adicionalmente, en tomate [36], café [40], maíz [50], cilantro [7], chile habanero [12] y sorgo [16], se han reportado incrementos significativo en la altura y diámetro del tallo, el peso fresco y seco tanto foliar como radicular; de igual manera, hay reportes donde se asegura que incrementa la concentración de ácido indol acético [1] [20] [29] y el rendimiento en la producción de los cultivos como pepino [47], café [40] y cilantro [7].

De manera similar, las bacterias del género *Rhizobium* sp. son capaces de fijar de 100-200 kg de Nitrógeno por ha/año [24]. Posee una predilección por los cultivos leguminosos como frijol [15] [19] y soya [13]; sin embargo, se ha comprobado sus efectos favorables en otros cultivos no leguminosos, por ejemplo, pimiento [46], caña de azúcar [18], tomate [41], maíz [45], encino [22], cebada [42] y lechuga [33]. En estos reportan incrementos en la concentración de ácido indol acético o AIA, en la altura de la planta, y en la cantidad de biomasa (peso fresco y seco).

Con relación a la inoculación conjunta de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum* se ha demostrado que induce sinérgicamente los genes nod [51] activadores de la secreción de flavonoides en la raíz, que a su vez, promueven la nodulación y la fijación de nitrógeno [28], tanto en leguminosas y no leguminosas [8] [9] [15] [44].

En otro aspecto, cabe destacar la importancia del cultivo de chayote, cuya producción debe ser constante al ser considerada como una de las hortalizas de mayor consumo por sus características nutritivas [21]; además, del impacto que tendrá el experimento, sabiendo que tan solo en el año 2019 en México se sembraron y cosecharon alrededor de 2967 hectáreas del este cultivo, con una producción superior a las 195 mil toneladas y un valor comercial superior a los 791,595 millones de pesos. Particularmente, el Estado de Veracruz es el máximo productor, posee las condiciones agroclimatológicas propicias para el cultivo de éste fruto, de forma tal que representa el 85% del total de la producción nacional [43].

Por todo lo anterior, este trabajo tiene la finalidad de evaluar los efectos bioquímicos y fisiológicos de biofertilizantes microbianos en el crecimiento del cultivo de la planta de chayote, al inocular cepas nativas de los géneros *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp. en su la raíz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el invernadero y laboratorio de Investigación Bioquímica y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana Campus Peñuela, en la ciudad de Córdoba, Veracruz durante el periodo comprendido entre los meses de enero a julio del 2016.

Las cepas bacterianas nativas se recolectaron, aislaron e identificaron con base a las características morfológicas, bioquímicas y tinción de Gram comunes para cada género. Para el proceso de obtención del biofertilizante, las cepas nativas en cultivo axénico de los géneros *Rhizobium* sp. y *Azospirillum* sp., se sembraron en caldo extracto de levadura Manitol (caldo YMA) y caldo libre de Nitrógeno con azul de bromotimol (caldo NFB), respectivamente [17].

Aplicando un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos descritos como **Rhiz** (*Rhizobium* sp. 107 UFC / mL en caldo YMA); **Test-Rhiz** (Testigo caldo YMA sin inocular); **Azos** (*Azospirillum* sp. 107 UFC / mL en caldo NFB); **Test-Azos** (Testigo caldo NFB sin inocular) y **Rhiz-Azos** (*Rhizobium* sp. – *Azospirillum* sp.),

Las semillas de chayote verde liso con 35 días después de anthesis, se recolectaron en el mes de enero de 2016, en el municipio de Coscomatepec de Bravo, Veracruz, México (19°01'12" LN y 97°01'47" LW). Se pesaron y midieron, obteniendo un promedio en sus dimensiones de 17±1.0 cm de largo, 12±0.5 cm de ancho, con peso de 415 g. Posteriormente en el laboratorio, se lavaron y desinfectaron por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 5% y se enjuagaron con abundante agua destilada. Previo a la siembra, las semillas fueron inoculadas, por inmersión en un volumen de 10 mL del biofertilizante, preparado de acuerdo con las especificaciones de cada tratamiento. Para las semillas del tratamiento Rhiz-Azos, se usó una mezcla constituida por 5 mL de caldo YMA con 107 UFC / mL de *Rhizobium* sp. y 5 mL de caldo NFB 107 UFC / mL de *Azospirillum* sp. Las semillas de los controles Test-Rhiz y Test-Azos, se aplicó 10 mL del caldo YMA y caldo NFB respectiva y completamente libres de crecimiento bacteriano. Luego entonces, las semillas fueron sembradas en bolsas de polietileno (30 cm ancho x 45 cm largo) con 7 Kg de suelo, que se colocaron dentro del invernadero con base al arreglo experimental.

Durante este periodo se omitió cualquier tipo de fertilización y para el riego se usó agua purificada que se aplicó homogéneamente. Se le dio seguimiento al experimento durante 90 días después de la siembra (dds), se registraron los datos de las diferentes mediciones en cada una de las variables de estudio. Dentro de este tiempo se evaluó la expansión foliar (EF) y velocidad de crecimiento (VC); al término de éste periodo, se cuantificó la concentración de nitrógeno amoniacal (NH_4^+), clorofila,

compuestos indólicos del tipo ácido indolacético (AIA) y proteína; finalmente, las mediciones destructivas del peso fresco (PF), peso seco (PS), contenido de materia orgánica y cenizas.

Acumulación de Biomasa

Para determinar el peso fresco (PF), se pesaron las plantas, se sometieron a un tratamiento a 60°C durante dos semanas o hasta que el peso seco (PS) fue constante. De este material, se tomaron 10 g de raíz, hoja y tallo y se dejaron dentro de una mufla por 5 horas a 600°C, se determinó su peso para expresarlo como porcentaje de cenizas.

Expansión foliar y velocidad de crecimiento

En el periodo comprendido entre 54-64 dds se realizó esta medición. Las hojas seleccionadas en cada una de las plantas de los cinco tratamientos se marcaron y fueron medidas durante 10 días consecutivos y en las primeras horas de la mañana. Se usó el método indirecto de calcado, por lo que, se dibujó diariamente el contorno de las hojas pequeñas hasta su crecimiento máximo; el calcado obtenido de cada hoja se cortó y se pesó. Para obtener el área foliar se usó una curva estándar, en la que se pesaron cuadros de diferentes áreas; 1, 2, 4, 8, 10 y 12 cm² de papel del mismo tipo que fue usado en el proceso del calcado. Una vez obtenidas las mediciones y realizados los cálculos correspondientes, se graficaron las medias en cada una de las variables.

Cuantificación de Nitrógeno amoniacal

La concentración de Nitrógeno amoniacal (NH_4^+) foliar, se cuantificó mediante el método colorimétrico con el reactivo de Nessler (100 g de HgI_2 y 70 g de KI en 50 mL de H_2O destilada; esta solución se mezcló con 160 g de NaOH en 500 mL de H_2O destilada fría; y se aforó a 1 L). Se maceraron 0.2 g de hoja con 1 mL de H_2O destilada, posteriormente se centrifugó, se tomó 1 mL de sobrenadante se le agregó 0.5 mL del reactivo de Nessler y se dejó reposar por 20 minutos. Para tomar la lectura, se empleó un espectrofotómetro marca Quant 1300 GE a $\lambda=630$ nm; la concentración se calculó mediante una curva de calibración, con un rango de concentración de 5 - 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de NH_4Cl .

Cuantificación de compuestos indólicos

Se determinó la concentración de los compuestos indólicos del tipo ácido indolacético (AIA), con el reactivo de Salkowski (60 mL H_2SO_4 , 0.45 g FeCl_3 ; aforó a 100 mL con H_2O destilada) [1] [23] [27]. Para ello, se tomaron 0.4 gr de hoja y se maceraron en un mortero con 0.5 mL H_2O destilada. Se llevó a centrifugó y del sobrenadante se tomó 1 mL al que se le agregó 1 mL del reactivo de Salkowski, se mezcló e incubó en obscuridad por 20 minutos y posteriormente se midió la absorbencia con una $\lambda=535$ nm. La concentración de AIA se calculó mediante una curva de calibración, con un rango de concentración de 5-100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de AIA (marca SIGMA) y los resultados se expresaron en μg por g de tejido foliar.

Cuantificación de clorofila

Para la cuantificación de clorofila, se maceró 0.1 g de tejido con 1 mL de acetona; se tomaron 0.1 mL y se agregó a 1.9 mL de acetona. Se incubó durante 10 minutos, se midió la absorbencia a una $\lambda=663$ y 645 nm. La concentración se calculó con base al coeficiente de extinción, técnica propuesta por Lichtenholer (1987).

Cuantificación de proteína foliar y radicular

Se determinó la concentración de proteína radicular y foliar mediante el método colorimétrico de Bradford (Reactivo de Bradford Azul de Coomasie G-250 5 mg; Etanol 2.5 mL, Ac. fosfórico 5 mL, se aforó a 50 mL con agua destilada). Finalmente se añadió 1 mL del reactivo de Bradford a todos los tubos; se agitaron y llevó a lectura en el espectrofotómetro a $\lambda=595$ nm, la concentración se calculó con base en una curva de calibración con albumina.

RESULTADOS

Las plantas de chayote se desarrollaron sin problemas de plagas, se regaron en forma homogénea suficiente y libre de fertilizantes. Los resultados obtenidos en las variables de estudio fueron analizados estadísticamente por Anova, con índice de confianza (IC) del 95% y un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, con agrupación de medias mediante el método de Games-Howell y una Prueba de Welch, en caso de existir diferencia significativa se aplicó la prueba de Tukey al 5%, mediante el paquete Minitab® 17.1.0, (2013).

En la acumulación de biomasa radicular, no se presentó una diferencia estadística significativa; sin embargo, la inoculación con bacterias del género *Rhizobium* sp. en las plantas de chayote a los 60 días después de su siembra, incrementó la masa radicular en un rango del 6 - 13% (Cuadro 1). Mientras que en las plantas con *Azospirillum* las medias obtenidas quedaron por debajo del testigo. Por otra parte, no se observó cambio en las variables de la biomasa foliar; solo sobresalen los valores obtenidos en el % de cenizas, donde ambas bacterias provocaron un incremento del 104% en las plantas con *Rhizobium* y un 35% con *Azospirillum*.

Cuadro 1. Acumulación de biomasa radicular en el peso fresco (PFr), peso seco (PSr) y porcentaje de materia orgánica

Tratamientos	PFr (g)	PSr (g)	% Materia Orgánica
Rhiz	91.5 a	10.8 a	10.6 a
Test-Rhiz	86.5 a	9.7 a	9.4 a
Rhi-Azo	112.0 a	11.6 a	11.2 a
Azos	60.7 a	8.46 a	8.3 a
Test-Azos	95.8 a	11.7 a	11.4 a
p\geq0.05	0.133	0.828	0.811
Valor F	4.9	0.39	0.42

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Expansión foliar y velocidad de crecimiento

Los datos obtenidos de expansión foliar no presentaron una diferencia estadística significativa; sin embargo, se puede comprobar que la presencia de las bacterias en la plantas de chayote favorece esta variable, destacando el tratamiento Rhi-Azos (Figura 1) que presenta la mayor acumulación en los días 8, 9 y 10 de la medición.

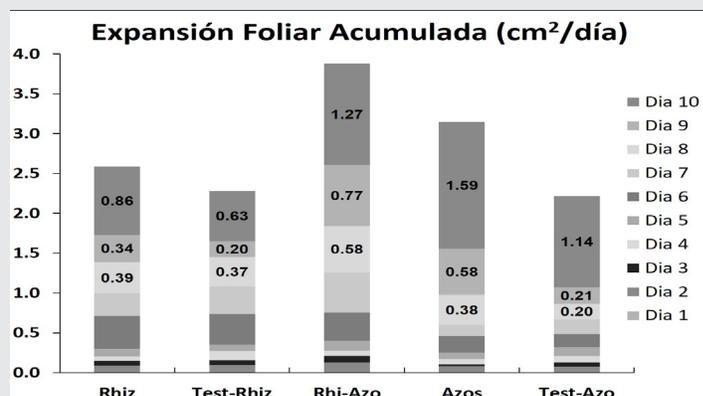


Figura 1. Expansión foliar acumulada durante los 10 días dentro del periodo comprendido entre 54-64 dds.

El análisis estadístico y las medias obtenidas de cada tratamiento en los resultados cuantificados durante los 10 días en la variable de velocidad de crecimiento se graficaron en la Figura 2, donde el tratamiento Rhi-Azos mostró la mayor velocidad en el crecimiento.

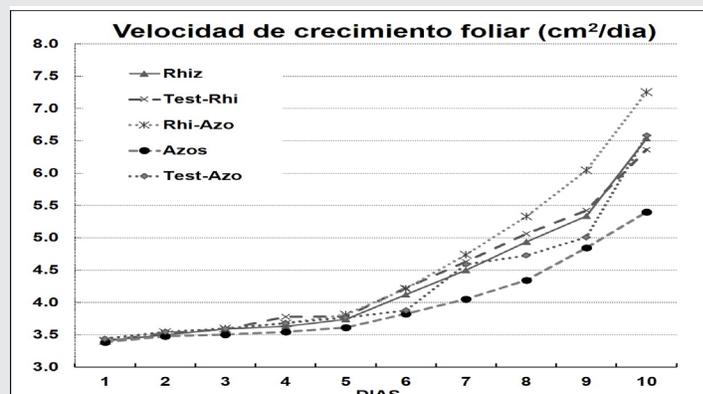


Figura 2. Velocidad de crecimiento en la planta de chayote en los distintos tratamientos.

Nitrógeno amoniacal (NH₄⁺), compuestos indólicos del tipo AIA, clorofila y proteína.

A los 70 días después de la siembra, se cuantificaron las variables bioquímicas, que incluyó la concentración de amoníaco foliar, indoles del tipo AIA, clorofila, así como proteína foliar y radicular.

La inoculación de bacterias del género *Rhizobium* sp. en la planta de chayote, incrementó significativamente la concentración de NH₄⁺ en un 76% y la concentración de AIA en un 115% (Cuadro 2). De igual forma, cabe destacar los efectos del tratamiento Rhi-Azo, ya que a pesar de que no fue significativa la diferencia es favorable para la planta y en el caso de AIA fue de 109% contra Test-Rhiz.

Cuadro 2. Análisis de varianza de las medias obtenidas en las variables NH₄⁺ y AIA

Tratamientos	NH ₄ ⁺		AIA	
	μg . g hoja		μg . g hoja	
Rhiz	2.33	±0.15 a	105.6	±10.7 a
Test-Rhiz	1.31	±0.21 b	48.7	±5.9 b
Rhi-Azo	0.67	±0.07 c	101.9	±23.6 a
Azos	0.39	±0.05 c	99.9	±4.6 a
Test-Azos	0.59	±0.21 c	89.9	±2.2 ab
p≥0.05	0.000 *		0.002 *	
Valor F	102.67		7.94	

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Con relación a la cuantificación de clorofila, el análisis estadístico de los resultados no arrojó una diferencia significativa; no obstante, fue claro el efecto favorable por ambas bacterias en la planta de chayote; sobresale el tratamiento Azo que incrementó en un 48% el contenido de clorofila total, en un 70% la clorofila a y un 15% en la clorofila b; en este mismo contexto, cabe resaltar el tratamiento Rhi-Azo cuyas medias en esta variable fueron las más altas comparada con los otros cuatro tratamientos (Figura 3).

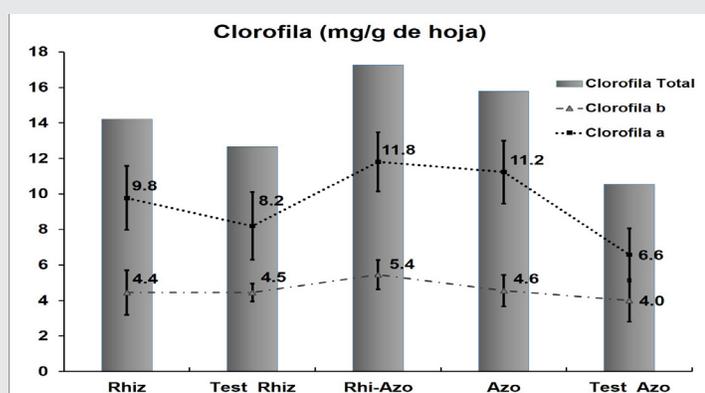


Figura 3. Análisis de varianza de las medias obtenidas en la variable de Clorofila a y b.

Los resultados en la cuantificación de la proteína foliar no mostraron diferencia estadística significativa de los tratamientos con sus respectivos testigos; no obstante, se observó que los tratamientos inoculados con una o ambas bacterias redujeron su contenido proteico en un 34% con Rhizobium y 56% con Azospirillum, En la cuantificación de proteína radicular, las medias obtenidas para cada tratamiento no presentaron diferencia estadística significativa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de las medias obtenidas en la variable de proteína foliar y radicular.

Tratamientos	Proteína		Proteína	
	mg . g Hoja		mg . g Raíz	
Rhiz	3.9	±0.89 b	4.7	±0.44 a
Test-Rhiz	14.4	±0.73 ab	4.6	±0.78 a
Rhi-Azo	17.9	±3.37 ab	4.7	±0.71 a
Azos	13.3	±2.81 ab	4.9	±0.37 a
Test-Azos	23.5	±8.19 a	5.9	±0.60 a
p≥0.05	0.004*		0.002*	
Valor F	6.40		5.52	

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

CONCLUSIONES

Con este trabajo se comprueba que la inoculación de bacterias de los géneros Rhizobium sp y Azospirillum sp. son capaces de infectar la planta de chayote y producir efectos positivos en la acumulación de biomasa y en la concentración de metabolitos.

De modo semejante, a lo reportado en otros trabajos con PGPR, se confirma la eficacia de estos géneros bacterianos en la planta de chayote, con un incremento en el crecimiento radicular, en la concentración de NH₄⁺ y en el ácido indolacético, cuyos valores fueron los más altos en las plantas de los tratamientos con Rhizobium sp. A su vez, Azospirillum sp. induce el incremento en la concentración de clorofila y la masa foliar.

En este contexto, es claro que no existe un antagonismo entre estos dos géneros bacterianos, que son capaces de interactuar con la planta de chayote e involucran diferentes procesos bioquímicos. De ello, resulta conveniente admitir que la aplicación conjunta de estos microorganismos puede generar mejores resultados; puesto que, las medias más altas obtenidas en las diferentes variables, corresponde en su mayoría al tratamiento Rhi-Azo; pese a que la densidad bacteriana y el volumen del biofertilizante usado en los procesos de inoculación para este tratamiento previo a la siembra fueron reducidos al 50%; es decir, un volumen de 1:1. En tal caso, este punto puede ser de suma importancia en la reducción de costos dentro de los procesos de producción y aplicación del biofertilizante en este cultivo.

Se sugiere profundizar en los estudios que pudieran especificar los procesos fisiológicos y bioquímicos involucrados en la planta de chayote, además de considerar su evaluación durante el ciclo completo del cultivo en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1].Acebo, Y., Rives, N., Heydrich, M., Hernández, A. (2007) Efecto promotor del crecimiento vegetal de cepas de Azospirillum sp. en el cultivo de arroz, Cultivos Tropicales, 28(3), pp. 29-32.
- [2].Aguirre, J. F. M., Irizar, M. B. G., Durán, A. P., Grajeda, O., Peña, M. D. L. Á., Loredó, C. O., Gutiérrez, Á. B. (2009) Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. INIFAP. Chiapas, México.
- [3].Ahemad, M., Kibret, M. (2014) Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. Journal of King Saud University-Science. King Saud University, 26(1), pp. 1-20.
- [4].Alarcón, A., Ferrera, R. (2000) Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México, 26(2), pp. 191-203.

- [5].Armenta, A. D. B., García, C., Camacho, R., Apodaca, M., Gerardo, L., Nava, E. P. (2010) Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), pp. 51-56.
- [6].Ashraf, M. A., Muhammad, A., Ahmad, Z., Arif, M., Qasim, A., Mahmood, R. (2013) Plant growth promoting rhizobacteria and sustainable agriculture: a review. *African journal of microbiology research*, 7(9), pp. 704-709.
- [7].Becerra, K. C., Colmenares, A., Ramírez, L., Moreno, L., Cárdenas, D. (2015) Inoculación de Cilantro (*Coriandrum sativum* L.) con Rizobacterias en Villa del Rosario, Norte de Santander. *Rev. Facultad. Nal. Agrícola. Medellín*, 68(12), pp. 7459-7470.
- [8].Benintende, M. S. M., Urich, W., Herrera, M., Gangge, F. (2010) Comparación entre coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicum* en la nodulación, crecimiento y acumulación de N en el cultivo de soja, *Agriscientia*, xxvii (2), pp. 71-77.
- [9].Burdman, S., Volpin, H., Kigel, J., Kapulnik, Y., Okon, Y. (1996) Promotion of nod gene inducers and nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris*) roots inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd, *Applied and Environmental Microbiology*, 62(8), pp. 3030-3033.
- [10].Calvo, S. (2011) 'Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno', *Cultivos Tropicales*, 3, pp. 173-186.
- [11].Camelo, M. R., Vera, S. P. V., Bonilla, R. R. (2011) Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista CORPOICA. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), pp. 159-166.
- [12].Canto, M. J. C., Medina, S. P., Morales, A. D. (2004) Efecto de la inoculación con *azospirillum* sp. en plantas de Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacquin). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 4, pp. 21-27.
- [13]. Catuto, A. (2013) Efecto de la inoculación de *Rhizobium* en el crecimiento y nutrición de plántula soya, en la zona de Manglaralto, Cantón Santa Elena. *Universidad Estatal Península de Santa Elena*.
- [14].Curá, A. J., Ribaudó, M. C., Gaetano, M. A. and Ghiglione, O. H. (2005) Utilidad de las bacterias promotoras del crecimiento y fijadoras de nitrógeno en el cultivo del arroz durante las primeras etapas de desarrollo. *Biología aplicada y alimentos, Argentina*, pp. 10-12.
- [15].Dardanelli, M. S., Fernández de Córdoba, F. J., Espuny, M. R., Rodríguez Carvajal, M. a., Soria Díaz, M. E., Gil Serrano, A. M., Okon, Y., Megías, M. (2008) Effect of *Azospirillum brasilense* coinoculated with *Rhizobium* on *Phaseolus vulgaris* flavonoids and Nod factor production under salt stress. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11), pp. 2713-2721.
- [16].Díaz, F. A., Gálvez, L. D., Ortiz, C. F. E. (2015) Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. *Revista internacional de contaminación ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*, 31(3), pp. 245-252.
- [17].Duarte, J., (2016). "Efecto de biofertilizantes en el cultivo de chayote (*Sechium edule* Jacq)." *Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias - U.V.*
- [18].Ferrel, N., Soriano, B. (2014) Efecto de *Rhizobium etli* en el crecimiento de plántulas de caña de azúcar *Saccharum officinarum*, en condiciones de laboratorio. *REBIOLEST*, 2(1).
- [19].García, D. C. (2015) Validación de un bioinoculante a base de bacterias diazotróficas en el crecimiento, desarrollo y rendimiento agrícola de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Universidad Nacional de Loja*.
- [20].García, F., Muñoz, H., Carreño, C., Mendoza, G. (2010) Characterization of native strains of *Azospirillum* spp. and its effect on growth of *Oryza sativa* L. "rice" in Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1, pp. 107-116.
- [21].Guevara, F., Rodríguez, L., Rosales, M. D. L. Á., Ortiz, R., Gómez C., H., Aguilar J., C. E., Pinto R., R. (2014) Criterios de manejo local del cultivo de chayote (*Sechium edule* Jacq.Sw) en zonas rurales de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 35(2), pp. 5-13.
- [22].Hernández, E. (2014) Efecto de *Rhizobium* spp. y *Boletus frostii* en el crecimiento de plántula de *Quercus resinosa*. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*.
- [23].Hernández, I., Nápoles, M. C., Morales, B. (2015) Caracterización de aislados de rizobios provenientes de nódulos de soya (*Glycine max* (L.) Merrill) con potencialidades en la promoción del crecimiento vegetal. *Cultivos Tropicales*. 36(1), pp. 65-72.
- [24].Hernández, M., Pereira, M., Tang, M. (1994) Utilización de los microorganismos biofertilizantes en los cultivos tropicales. *Pastos y Forrajes*, 17(3).
- [25].Irizar, M. B. G., Vargas, P. V., Garza, D. G., Tut y Couoh, C., Rojas Martínez, I., Trujillo Campos, A., García Silva, R., Aguirre Montoya, D., Martínez Gon-

- zález, J., Alvarado Mendoza, S., Grageda, O., Valero Garza, J., Aguirre, J. F. M. (2003) Respuestas de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica en México*, 29(2), pp. 213-225.
- [26].Kloepper, J. W., Lifshitz, R., Zablotowicz, R. M. (1989). Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in biotechnology*, 7(2), 39-44.
- [27].Morgado, A. (2013) Eficiencia de la rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) en plántulas de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Colegio de Postgraduados*.
- [28].Nápoles, M., Cabrera, J. C. P., Onderwater, R., Wattiez, R., Forte, I. H., González, L. M., Vázquez, N. (2016). Signals produced by *Rhizobium leguminosarum* in the interaction with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 37(2), pp. 37-44.
- [29].Nuncio, G. L. (2013) Aislamiento y caracterización de *Azospirillum sp.* inoculado en cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. Híbrido 'grande'). *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.
- [30].Okon, Y., Labandera, C., Lage, M., Lage, P. (2015). Agronomic applications of *Azospirillum* and other PGPR. *Biological nitrogen fixation*, 2, pp. 921-931.
- [31].Paredes, M. C. (2013) Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. *Pontificia Universidad Católica Argentina*.
- [32].Pedraza, R. O., Teixeira, K. R. S., Fernández, A., Salamone, I. G., De Baca, B. E., Azcón, R. (2010) Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica Ciencia Tecnología. Agropecuaria*, 11(2), pp. 155-164.
- [33].Peña, H. B., Reyes, I. (2007) Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Interciencia*, 32(8), pp. 560-565.
- [34].Pérez, Y. de la F., Díaz, A., Restrepo, G. M., Diván, V. L., Hernández, A. (2015) Diversidad de bacterias diazotróficas asociativas potencialmente eficientes en cultivos de importancia económica. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 4(1), pp. 17-26.
- [35].Rodríguez, A. (2015) Efecto de *Rhizobacterias Azotobacter*, *Acetobacter* y *Azospirillum sp.* sobre plántulas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *UAA A. Narro*.
- [36].Rodríguez, H., Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology advances*, 17(4), 319-339.
- [37].Rojas, J., Moreno, N. (2008) Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, X(2), pp. 50-62.
- [38].Rueda, E. O., Ortega, J., Barrón, J. M., López, J. E., Bernardo, M. A., Hernández, L. G., Alvarado, A. G., Valdez, R. D. (2015) Los fertilizantes biológicos en la agricultura. *Invurnus*, 10(1), pp. 10-17.
- [39].Samaniego, B. Y., Reyes-Ramírez, A., Moreno-Valenzuela, O. A., Tun-Suárez, J. M. (2017). Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus spp.* *Revista de Protección Vegetal*, 32(1), 10-22.
- [40].Santana, X. (2014) Efectos de la aplicación de MFN complementarios a la fertilización química en una plantación de café variedad caturra rojo en la zona de Babahoyo. *Universidad Técnica de Babahoyo*.
- [41].Santillana, N., Arellano, C., Zúñiga, D. (2005) Capacidad del *Rhizobium* del promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Ecología Aplicada*, 4(1), pp. 47-51.
- [42].Santillana, N., Zúñiga, D., Arellano, C. (2012) Capacidad promotora del crecimiento en cebada (*Hordeum vulgare*) y potencial antagónico de *Rhizobium leguminosarum* y *Rhizobium etli*. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), pp. 11-17.
- [43].SIAP. 2021 <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- [44].Spaepen, S., Vanderleyden, J., Okon, Y. (2009) Chapter 7 Plant Growth-Promoting Actions of Rhizobacteria. *Advances in Botanical Research*, 51, pp. 283-320.
- [45].Valenzuela, J. S., Julio, A., Crespo, L., Borbor, G., Borbor, V. (2016) Efecto de la inoculación de bacterias nativas en dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.), provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, III(2), pp. 50-60.
- [46].Vazallo, S. N., Ramírez, L. T., Carranza, L. T., Zárate, B., Soriano, B. (2013) Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annuum* var. *longum*. *REBIOLEST*, 1(1), pp. 11-21.

[47].Vázquez, E., Lira, R., Valdéz, L. A., Cárdenas, A., Ibarra, L. (2014) *Respuesta del pepino a la fertilización biológica y mineral con y sin acolchado*. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 10, p. 12.

[48].Vega, A. M. (2015) *Efecto en la absorción de minerales N, P, K en chile jalapeño (Capsicum annuum L.) inoculado con Azospirillum en invernadero*. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.

[49].Velasco, L. (2015) *Azospirillum aumenta la concentración de nitratos en la solución del suelo y el crecimiento del cultivo de cebolla de rabo*. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.

[50].Villa, L., Mayek, N., García, J. G., Hernández, J. L. (2014) *Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de Azospirillum sp.* *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18(February).

[51].Volpin, H., Burdman, S., Castro-Sowinski, S., Kapulnik, Y., Okon, Y. (1996) *Inoculation with azospirillum increased exudation of rhizobial nod-Gene inducers by alfalfa roots*, *M PMI*, 9, pp. 388-394.



Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Caracterización de un material hiperelástico sometido a pruebas de compresión utilizando Abaqus



Colaboración

Ulises Augusto Jaen Rendon; Dariusz Szwedowicz; Miguel Alberto Domínguez Gurría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Fecha de recepción: 14 de agosto de 2021

Fecha de aceptación: 05 de diciembre de 2021

RESUMEN: En el siguiente trabajo se presenta, la caracterización de un material hiperelástico sometido a compresión, con respecto a la norma internacional. Los modelos constitutivos son de gran importancia cuando se trabaja con elastómeros, debido a que estos ofrecen resultados que se adaptan mejor a las características que presentan los elastómeros. El neopreno cuenta con propiedades mecánicas que lo hacen un material apto para su uso en estructuras, mecanismos y demás usos tiene una densidad relativa de 1,068 (absoluta de 1,068 mg/ml), por lo que mediante modelos numéricos y experimentación con probetas estandarizadas conforme a la norma ASTM D395-03, se confirmó que para el neopreno en modelos a compresión es recomendable usar el modelo Polinomial y Polinomial Reducido de 2do. orden para un rango de deformación a compresión de 0 al 30%. El modelado por FEM permite la verificación de las estructuras y materiales, por lo que, en la etapa del diseño de modificaciones en geometría permite el ahorro de tiempos así como costos asociados a los cambios en procesos de producción.

PALABRAS CLAVE: Análisis Numérico, Elemento Finito, Elastómeros, Neopreno.

ABSTRACT: In this work, the characterization of a hyperelastic material subjected to compression tests is presented, using international standardization as reference. Constitutive models are essential when working with elastomers, due to its reliability on predicting the mechanical behavior of these materials. Neoprene has a mechanical performance that make it appropriate for its use in structures, mechanisms and some others potential applications. Based on numerical models and tests standardized according to ASTM D395-03 standard, as well as considering that the relative density of neoprene is 1,068 (absolute density of 1,068 mg/ml), it was demonstrated that the polynomial and second order reduced polynomial models fit on modeling the compressive behavior of neoprene, within a strain range between 0 and 30%. FEM analysis is employed for verification of the structures and materials, thus, when designing geometrical modifications, FEM reduces time and costs linked to changes during production processes.

KEYWORDS: Numerical analysis, Finite Element, Elastomer, Neoprene.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de materiales alternos a los metales como el caso de los elastómeros está en incremento, puesto que, para algunas aplicaciones tienen mejores características que el acero, como es el caso particular en el control de vibraciones mecánicas e impacto.

La principal característica de un elastómero es la capacidad de presentar grandes deformaciones y al ser descargado regresar a su estado inicial, fenómeno al cual se le denomina hiperelasticidad [1].

El aumento del uso de los elementos elastoméricos hace indispensable el conocimiento de su comportamiento mecánico para el aprovechamiento de sus características.

El desarrollo del procedimiento presentado advierte las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta en la simulación numérica de materiales hiperelásticos, con el objetivo de obtener resultados cercanos y congruentes a la realidad. El presente estudio se limitó a los modelos constitutivos disponibles dentro de la paquetería de elementos finitos (Abaqus) [2].

Glosario

$W(E)$	Energía de deformación
S	Medida de esfuerzo (Piola-Kirchoff)
E	Medida de deformación (Green)
I_1, I_2, I_3	Invariantes del tensor de deformación
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	Alargamientos principales
N	Orden de la función de energía
C_{ijk}	Constantes del material (Experimental)
J^{el}	Es la razón de cambio de volumen
D_i	Constantes del material (Experimental)
W_{dev}	Componente deviatorica de la función de energía
W_{vol}	Componente volumétrica de la función de energía
α_i, μ_i	Constantes del material

Modelos constitutivos

A diferencia de otros materiales cuyo comportamiento mecánico puede ser descrito a partir de las constantes elásticas, las gomas presentan otras características no lineales como viscoelasticidad y ablandamiento del material.

Los modelos constitutivos permiten describir el comportamiento elástico no lineal de los elastómeros. En el desarrollo de tales modelos se supone un comportamiento elástico, isotrópico además de incompresibilidad del material. La hipérelasticidad se puede expresar en términos de la energía potencial de deformación $W(E)$, la cual describe la cantidad de energía de deformación almacenada por unidad de volumen bajo un estado de deformación dado como se muestra en la ecuación (1) [3].

$$W = W(E) \text{ tal que } S = \frac{\partial W(E)}{\partial E} \quad \text{Ec (1)}$$

De acuerdo a la teoría de Rivlin [4], la función de densidad de energía de deformación se puede expresar en términos de las invariantes de deformación (ver ecuación 2):

$$W = f(I_1, I_2, I_3) \quad \text{Ec (2)}$$

En las ecuaciones (3), (4) y (5) presentan las invariantes de deformación se expresan en función de los alargamientos principales [5].

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad \text{Ec (3)}$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad \text{Ec (4)}$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \quad \text{Ec (5)}$$

De esta forma la ecuación (6) se expresa de la siguiente forma:

$$W = \sum_{i+j+k=1}^N C_{ijk} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j (I_3 - 3)^k \quad \text{Ec (6)}$$

Considerando que la goma es cercana a la incompresibilidad, se obtiene la ecuación (7), siendo esta la forma general del modelo de Rivlin para el caso de incompresibilidad [4].

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad \text{Ec (7)}$$

Las constantes se obtuvieron mediante ensayos experimentales. A partir de la ecuación 6 se han desarrollado diversos modelos constitutivos basados en la primera y segunda invariante de deformación. A continuación, se describen de forma general algunos modelos básicos.

Forma Polinomial

La forma polinomial es un modelo basado en la primera y segunda invariante del tensor deviatorico de Cauchy-Green, y ha servido de base para el desarrollo de nuevos modelos constitutivos. Se define a partir de la ecuación (8) [6]:

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ijk} (\bar{I}_1 - 3)^i (\bar{I}_2 - 3)^j + \sum_{i+j=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{el} - 3)^{2i} \quad \text{Ec (8)}$$

La ecuación (8) es aplicable para pequeñas deformaciones y deformaciones nominales menores al 300%.

Modelo de Marlow

El modelo de Marlow es dependiente de la primera invariante de deformación, se emplea cuando los datos experimentales disponibles son limitados. Este modelo (ver ecuación 9) reproduce exactamente los datos experimentales para un modo de deformación específico [7].

$$W = W_{dev}(\bar{I}_1) + W_{vol}(J^{el}) \quad \text{Ec (9)}$$

Modelo de Odgen

El modelo de Odgen utiliza los alargamientos principales en lugar de las invariantes de deformación [8], Mediante la ecuación (10):

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{el} - 1)^{2i} \quad \text{Ec (10)}$$

Este modelo presenta una correcta respuesta en casos de grandes deformaciones. Una de sus restricciones es que no se debe utilizar cuando existen datos experimentales limitados [6].

Ensayos Experimentales

Las constantes del material presentes en las ecuaciones de los modelos hiperelásticos son obtenidas a partir de ensayos experimentales. En la Figura 1 se muestran ejemplos de las curvas de comportamiento de la tensión uniaxial, tensión biaxial y esfuerzos cortantes [9].

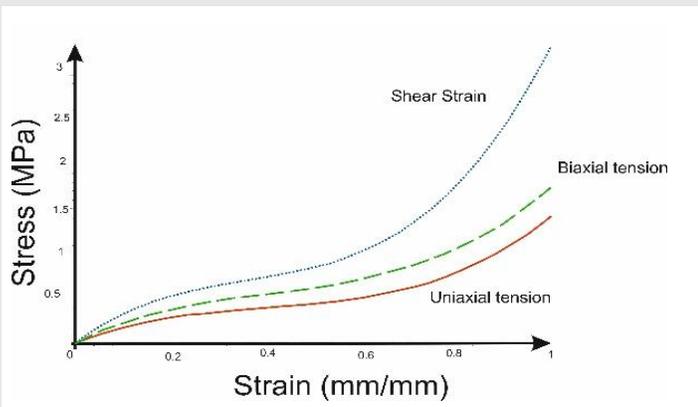


Figura 1. Ejemplo de la respuesta de las gomas frente a diversos ensayos [9].

Para la obtención de las propiedades mecánicas del material a utilizar (neopreno) se realiza una prueba a carga cíclica utilizando una máquina de ensayos universales Shimadzu AG-X plus 100kN. La Figura 2 (a) muestra las dimensiones de la probeta estandarizada con base en la especificación de la norma ASTM D395-03 [10], la cual requiere un cilindro de 29.0 ± 0.5 mm de diámetro y una altura de 12.5 ± 0.5 mm a una velocidad de 0.05 kN/s hasta una deformación del 30%. La Figura 2 (b) presenta el montaje de la probeta estandarizada entre los platos de compresión (accesorios de la máquina universal). La prueba consistió en colocar una probeta cilíndrica entre dos placas, teniendo un desplazamiento a una velocidad constante de 50 N/s hasta una deformación del 30% [11].

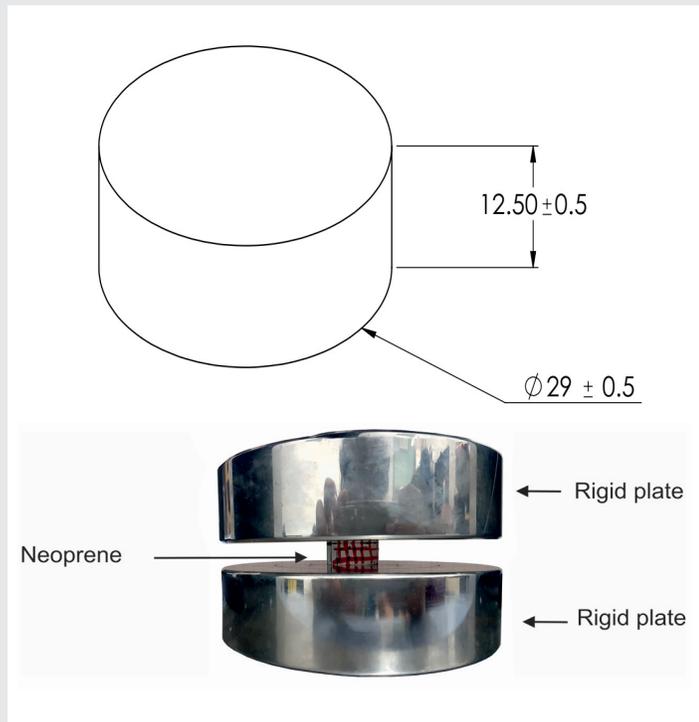


Figura 2. Prueba experimental a compresión, donde: a) Dimensiones de la probeta estandarizada y b) Montaje de la probeta entre los platos de compresión [11]

La Figura 3 muestra la curva esfuerzo-deformación obtenida de la prueba cíclica a compresión, bajo las especificaciones de la norma ASTM D395-03 [10]. Se observa el comportamiento del elastómero a la prueba de 10 ciclos, donde a partir del segundo ciclo se presenta el efecto Mullins, lo cual muestra una reducción el área bajo la curva del ciclo [12].

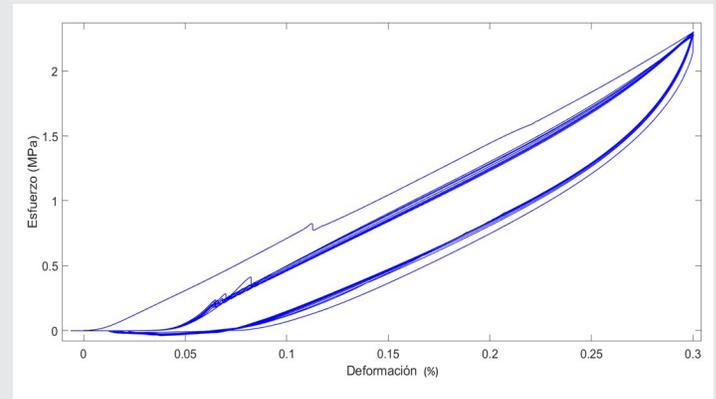


Figura 3. Gráfica Esfuerzo-Deformación de prueba cíclica a compresión

Coefficientes reológicos

La Figura 4 muestra la gráfica de la mitad del primer ciclo, la cual representa la fase de compresión del elemento, esto debido a que todas las pruebas que se hacen son solo a compresión y no de forma cíclica, por lo que no es necesario tomar los datos cuando la fuerza es estable debido al efecto Mullins [12].

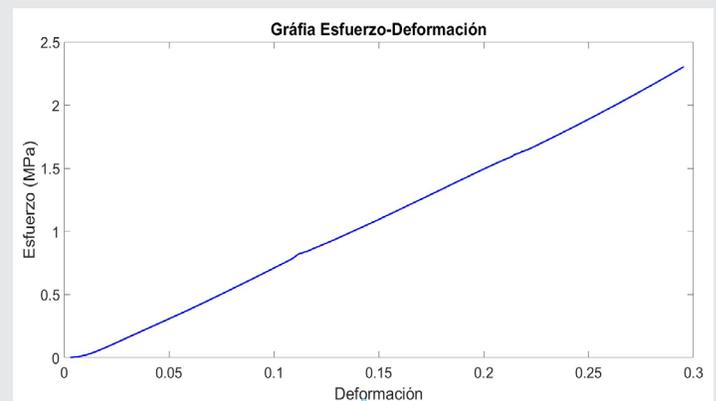


Figura 4. Fase de compresión del elemento de neopreno

Los datos de la gráfica de esfuerzo-deformación se importaron al software Abaqus/Explicit para la evaluación del material con los diferentes modelos constitutivos.

En la Figura 5 se muestran las gráficas comparativas con los modelos constitutivos y los valores experimentales. En los detalles a, b y c se puede observar cómo se comportan los modelos a lo largo de la gráfica.

como se asemejan los dos modelos constitutivos con los datos experimentales.

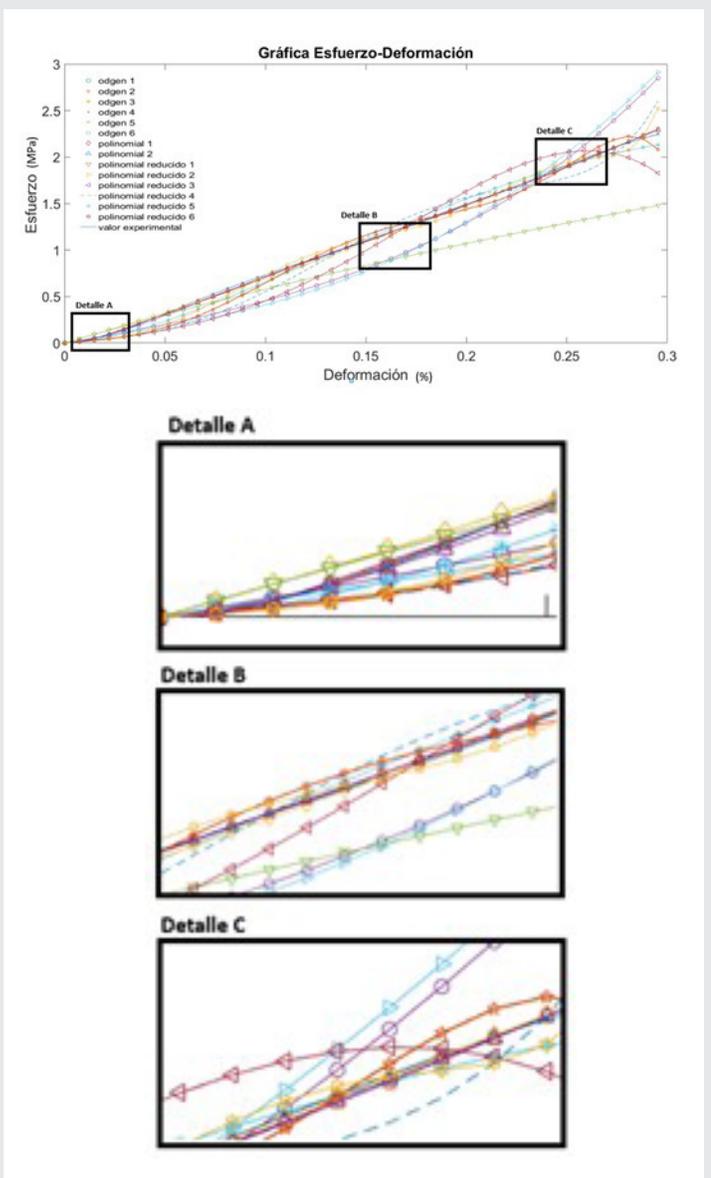


Figura 5. Comparación de modelos constitutivos y prueba experimental

Tras la evaluación de la Figura 5 se evaluaron las gráficas comparando su aproximación con los datos experimentales. En el detalle "A" se observa los modelos tienen un comportamiento inicial similar, en el detalle "B" situado en medio de la prueba a una deformación del 15% aquí se observa como los diversos modelos se dispersan y se hace más notoria la diferencia entre cada uno, por otro lado, en el detalle "C" se dispersan más a partir del 25% de deformación. Debido a que no todos los modelos constitutivos se adecuan al comportamiento de los materiales elastómericos, se seleccionó para el neopreno si hay una aproximación de los comportamientos comportamiento, dejando el modelo de Ogden de 6to. orden y el polinomial de 2do grado como se muestra en la Figura 6 en este caso se escogió el modelo polinomial para modelar la probeta Cuando es hasta el 30% se aproxima mejor con Ogden y polinomial. En los detalles de la figura 6 se muestra

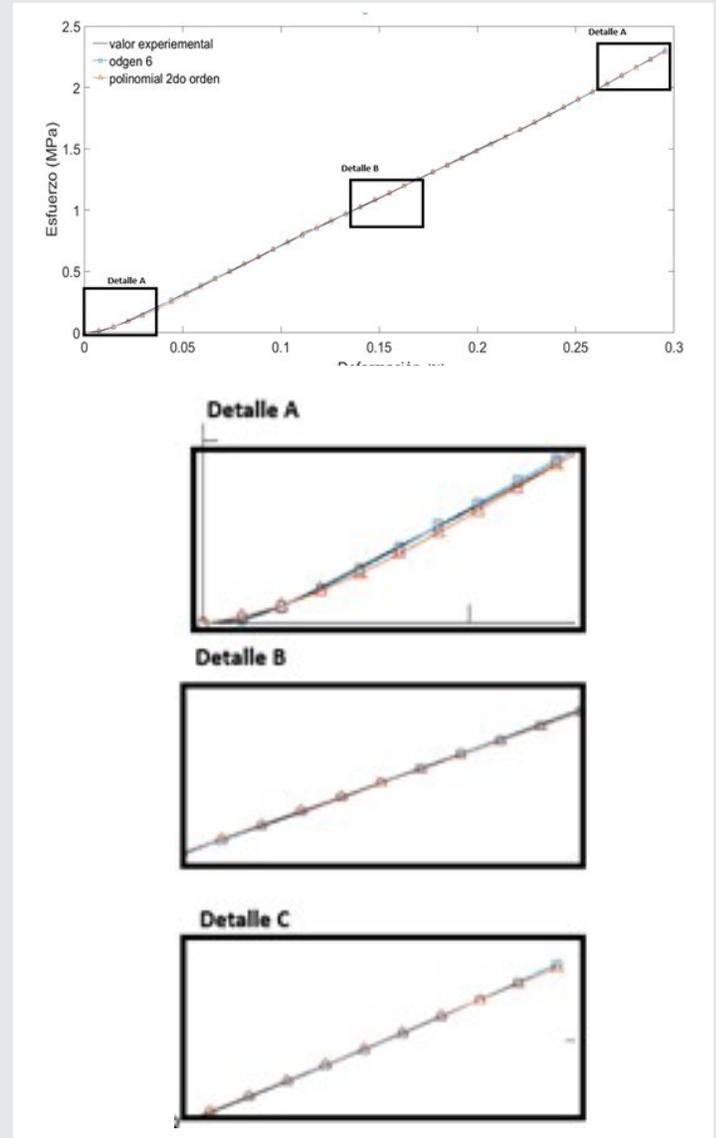


Figura 6. Comparación de modelos próximos al valor experimental

Abaqus permite obtener las constantes de los modelos hiperelásticos a partir de los datos experimentales agregados [13]. Esto permite tener una aproximación para representar el comportamiento hiperelástico del material, esto facilita la reproducción de los modelos con dicho material.

En la Tabla 1, se muestran las constantes para los modelos de Ogden de 6to. orden, polinomial de 2do. grado y polinomial reducido de 2do. grado. Los modelos polinomiales tienen una aproximación similar diferenciándose en que el modelo polinomial reducido en las ecuaciones características no considera la volumetría, dando por igual resultados aproximados a los datos experimentales.

Tabla 1. Constantes de modelos constitutivos

Modelo		Polinomial 2do orden	
D1=0.00000000	C10= 25.1267903	C01=-24.8977144	
D2=0.00000000	C20=-180.362444	C11=478.163660	C02=-330.986926

Modelo		Ogden 6to orden	
I	MU_I	ALPHA_I	D_I
1	19980.0632	-1.53015512	0.00000000
2	-12463.3277	1.25388094	0.00000000
3	2490.09473	4.25655446	0.00000000
4	-33413.1312	-6.65045249	0.00000000
5	34466.6852	-9.06608360	0.00000000
6	11060.5044	-11.4171028	0.00000000

Modelo		Polinomial reducido 2do orden	
D1=0.00000000	C10= 0.556644823	C01=-0.00000000	
D2=0.00000000	C20=3.43641517	C11=0.00000000	C02=0.00000000

Modelos numéricos

Al obtener las constantes de los modelos constitutivos se realizó un modelo numérico para analizar que la simulación correspondiera a los experimentos. Figura 7. Una es ver la deformación presentada en ambos casos, así como una comparación de las gráficas de esfuerzo deformación.

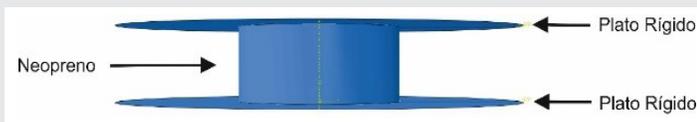


Figura 7. Elementos del modelo discreto

Para el cilindro con propiedades del neopreno cuenta con una malla general de 0.5 mm de tipo C3D4 los platos rígidos cuentan con una malla general de 2 mm y de tipo R3D4 (ver Figura 8). Se consideran los platos de la maquina universal como rígidos, debido a que la deformación que habrá en ellos con respecto a la probeta de neopreno será casi nula y para este caso no se requiere la información de los platos, además que el tiempo de simulación disminuye considerablemente. Las condiciones de frontera se aprecian en la Figura 9, donde el plato rígido inferior se queda fijo mientras que el superior baja por 5 mm, teniendo contacto la probeta con los platos rígidos un coeficiente de fricción de $\mu=0.7$.

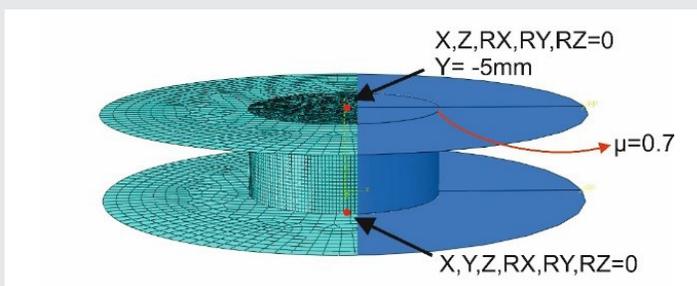


Figura 8. Mallado de piezas del modelo discreto y las condiciones de frontera

Con los resultados obtenidos del modelo numérico como se muestra en la Figura 9, se compararon con los resultados experimentales, lo que da una diferencia menor al 15 % entre cada uno de los resultados. Al ser

una diferencia mínima se puede dar como validado el modelo.

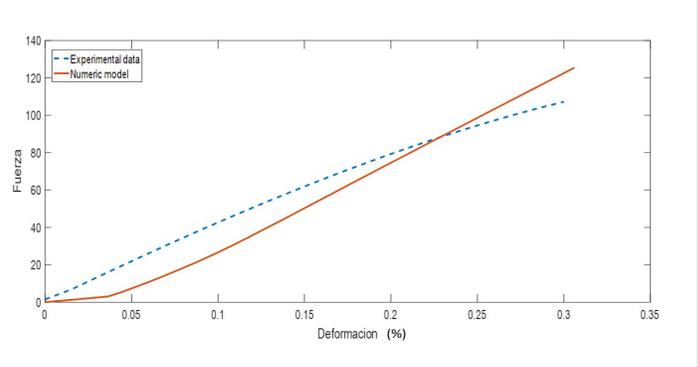


Figura 9. Comparación de resultados experimentales y numéricos del modelo polinomial reducido de 2do orden

Aplicación

El uso de un elemento de neopreno, depende en gran medida de la geometría del elemento y de la aplicación que se necesite puesto que es versátil. Por esta razón es importante tener un modelo adecuado del material, la geometría propuesta es un cilindro con ondulaciones como se muestra en la Figura 11. El elemento ondulado en este caso se aplica para transmitir el torque y como elemento de seguridad de una unión mecánica. Con dicha geometría se comprobará si los datos obtenidos de las probetas siguen siendo válidos aun con el cambio de geometría.

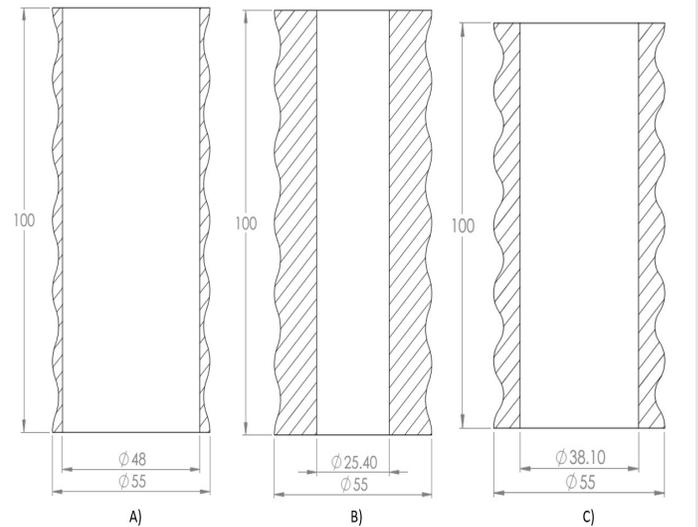


Figura 10. Esquema de probeta cilíndrica de neopreno con ondulaciones

Esta probeta cilíndrica con ondulaciones por su funcionamiento, fue sometida a las mismas pruebas, una compresión de 10 mm durante 10 ciclos obteniendo su gráfica de esfuerzo desplazamiento. En la Figura 11 se muestra la manera en que fue montada la prueba en la máquina universal Shimadzu.

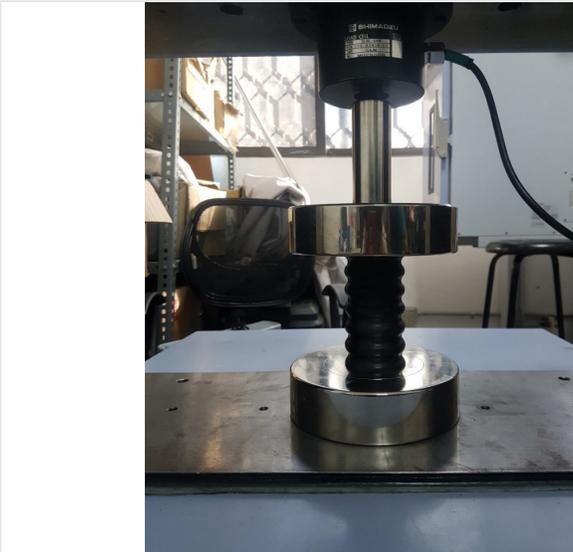


Figura 11. Montaje del cilindro en las placas de máquina universal

En la Figura 12 se muestra la gráfica fuerza-desplazamiento obtenida de la prueba a compresión, donde se puede observar el efecto Mullins. En el primer ciclo la fuerza de compresión es mayor y cada ciclo se reduce hasta estabilizarse después de 5 ciclos.

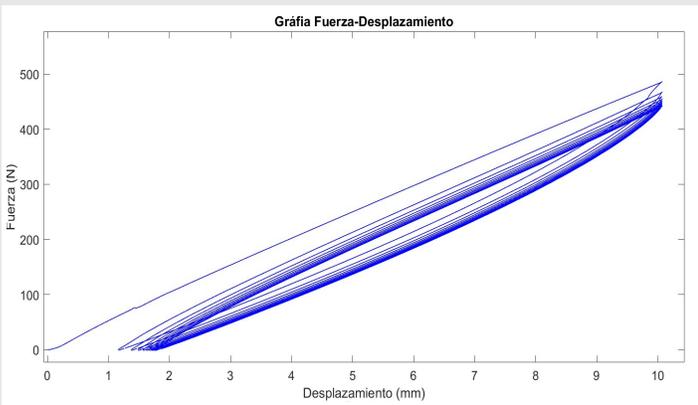


Figura 12. Fuerza para prueba cíclica de compresión del elemento ondulatorio

Con los datos obtenidos a partir de la caracterización del neopreno se realizó un modelo discreto con la geometría de los elementos ondulatorios. Tomando la compresión del primer ciclo se compararon de los resultados de dos pruebas experimentales y la del modelo discreto, esto con la finalidad de corroborar que los datos de la caracterización tengan resultados aproximados a los de la prueba experimental. El modelo numérico cuenta con las mismas condiciones de frontera que la parte experimental en la Figura 13 a) se muestra las condiciones de frontera y malla tipo C3D8R para el cilindro con ondulaciones y de tipo R3D4 para los platos rígidos, en la Figura 13 b) se muestra los esfuerzos que presenta el cilindro con ondulaciones observando la distribución uniforme y simétrica en el elemento.

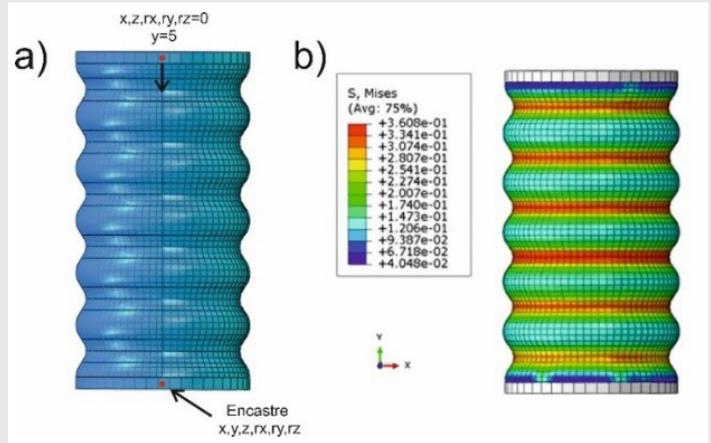


Figura 13. Elemento ondulatorio donde: a) son condiciones de frontera y malla, b) distribución de esfuerzos

En la Figura 14 se muestra una comparación de las gráficas Fuerza Desplazamiento de las pruebas experimentales y el análisis numérico, dando como resultado menos del 6% de diferencia entre ambas gráficas. Que pasas cuando se hacen las pruebas de compresión en ondulado.

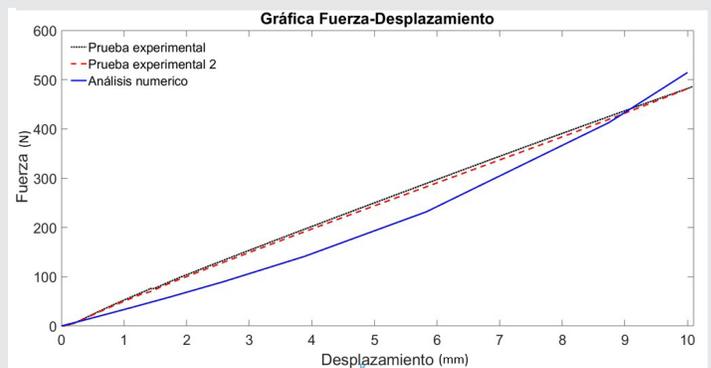


Figura 14. Gráfica comparación de resultados experimentales y numérico

Con la validación del material en diversas geometrías se puede hacer un cambio de parámetros y condiciones de frontera. El uso del cilindro con ondulaciones en el uso de un fusible mecánico que limitara el torque de transmisión según la precarga que a este se le someta. Como ejemplo se puede observar en la Figura 15 una banda transportadora por la cual está siendo transportada diversas cargas y el cilindro con ondulaciones está montado entre la polea y el eje secundario y opcionalmente entre el eje secundario y el rodillo de la banda. En el corte A-A de la Figura 15 se puede observar una vista amplia de la polea con el montaje del cilindro con ondulaciones.

Si la carga es mayor a la precarga dada ocurrirían deslizamientos, por lo que dejará de transmitirse la potencia de la parte motriz a la secundaria, así evitando sobrecargas, calentamiento en el motor y otros problemas ocasionados con líneas de producción o daños en usuarios.

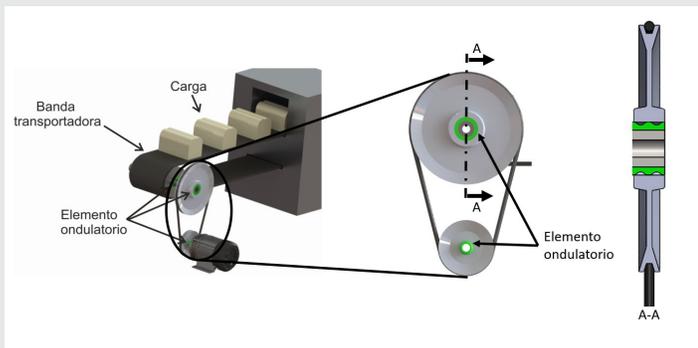


Figura 15. Ejemplo de uso del cilindro con ondulaciones

CONCLUSIÓN

En este trabajo se presentó los modelos constitutivos integrados en el software Abaqus para la descripción del comportamiento mecánico de los elastómeros bajo cargas de compresión.

De acuerdo a los resultados presentados, modelos de segundo orden, tales como el modelo polinomial y el polinomial reducido presentan mayor proximidad a los resultados de la prueba experimental a compresión.

Obteniendo el modelo constitutivo que represente el comportamiento mecánico del elastómero se procede al cambio de geometría del elemento el cual seguirá siendo representado por el mismo modelo hiperelástico.

El modelado con la probeta cilíndrica con ondulaciones permitió obtener resultados numéricos, aproximados a los resultados experimentales de las pruebas de compresión cuasiestática del cilindro con ondulaciones.

Con la verificación de la estructura modelada por FEM es correcta, se pueden esperar que las modificaciones de la estructura reflejen correctamente los cambios de resistencia, rigidez, etc.

El modelado por FEM permite la verificación de las estructuras y materiales, por lo que, en la etapa del diseño de modificaciones en geometría permite el ahorro de tiempos y costos asociados a los cambios en procesos de producción.

El cilindro con ondulaciones da un cambio de rigidez con respecto a un cilindro liso, por lo que los usos con ondulaciones son de mayor provecho en la industria que si fura liso.

El rango de compresión del cilindro con ondulatorio está en el rango de deformación del 10% como se observa en la figura 14, por lo que está en el rango de aplicación del modelo polinomial reducido.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Franta. (1989). *Elastomers and Rubber Compounding Materials*. 607

[2] Borah, B. (2020). *Finite Element Modelling of Confined Masonry Wall under In-plane Cyclic Load*. *International Conference on Materials, Mechanics and Structures (ICMMS2020)*, July 14-15, 2020, on Google Meet, Organized by National Institute of Technology (NIT) Calicut, Kerala, India

[3] Jarosław, R., Marlena, R., 2010, "The Methodology of the Analysis of Elastomer Bearings Properties", Slovakia

[4] Rivlin R.S., 1948, "Large Deformations of isotropic materials, IV. Further Developments of the general theory". *Phil. Trans. R. Soc. United States*

[5] Austrell, 1997, "Modeling of elasticity and damping for filled elastomers", PhD Thesis, Lund University, Sweden

[6] Minglei Ju, Hamdi Jmal, Raphaël Dupuis, Evelyne Aubry, 2014 "A comparison among Polynomial model, Reduced polynomial model and Ogden model for polyurethane foam". *Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, Material Science and Engineering Technology II*, p.169

[7] Tobajas, R., Elduque, D., Javierre, C., Ibarz, E., Gracia, L., 2016, "A Comparative Study of Hyperelastic Constitutive Models for an Automotive Material". *Proceedings of the European Modeling and Simulation Symposium*, 338-347

[8] Ogden, R.W., 1972. "Large deformation isotropic elasticity-on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids". *Proc. R. Soc. Lond. A, United States*

[9] Garcia, M. Ruiz, C., 2005, "Hyperelastic Material Modeling", *Reporte Técnico, Univeridad EAFIT, Colombia*

[10] International, A. (25 de 08 de 2020). *ASTM D395 - 03*. Obtenido de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D395-03.htm>

[11] Fediuc, D. O., Budescu, M., Fediuc, V., & Venghiac, V.-M. (2013). *Compression Modulus of Elastomers*. *The Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy*, 62(Lxiii), 157-166

[12] Wu, C., & Chiou, Y. (2019). *Stress-Strain Response of Cylindrical Rubber Fender*. <https://doi.org/10.3390/ma12020282>

[13] Smith, M. (2009). *ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.9*. Dassault Systèmes Simulia Corp.



Tierra,
Medio Ambiente
y Energía

Ingeniantes

Desarrollo y validación de un dispositivo para determinación de humedad en suelos agrícolas



Colaboración

José Rafael Argumedo Pereda, Darío Cisneros Arreola, Merit Cisneros González, Manuel Ismael Mata Escobedo, Ixchel Abby Ortiz Sánchez, Tecnológico Nacional de México / Valle del Guadiana

Fecha de recepción: 29 de noviembre de 2021

Fecha de aceptación: 28 de marzo del 2021

RESUMEN: Un factor de gran importancia económica en los sistemas agrícolas es el monitoreo de la humedad de los suelos con el fin de realizar una adecuada programación de los riegos. El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un dispositivo para determinar la humedad de cuatro tipos de suelos agrícolas de dos comunidades del municipio del estado de Durango y realizar su comparación con dos dispositivos comerciales de tipo analógico (OEM[®] y Nahita[®]). Se tomaron 200 lecturas para cada dispositivo en los cuatro tipos de suelo realizando un riego de aniego previo a la toma de datos. Los resultados no mostraron diferencia estadística ($P > 0.05$) entre dispositivos mientras que los coeficientes de correlación mostraron valores de 0.97 y 0.94 entre los dispositivos OEM[®] y Nahita[®] respectivamente. Adicionalmente el prototipo al haber sido desarrollado para operar de manera digital originó que se obtuvieran valores más precisos que los de tipo analógico y así evitar posibles errores de medición debido al ángulo de observación del usuario.

PALABRAS CLAVE: Analógico, Digital, Dispositivo, Humedad, Suelo.

ABSTRACT: A factor of great economic importance in agricultural systems is the monitoring of soil in order to carry out an adequate irrigation scheduling. The objective of this work is to design a device to determine the moisture of four types of agricultural soils in two communities of the municipality of the state of Durango and to compare it with two commercial analog devices (OEM[®] and Nahita[®]). Two hundred readings were taken for each device in the four types of soil, with irrigation prior to data collection. The results showed no statistical difference ($P > 0.05$) between devices while the correlation coefficients showed values of 0.97 and 0.94 between the OEM[®] and Nahita[®] devices, respectively.

Additionally, since the prototype was developed to operate digitally, more precise values were obtained than those of the analog type, thus avoiding possible measurement errors due to the user's angle of observation.

KEYWORDS: Moisture, Device, Soil, Digital, Analogic.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad que cada vez demanda el mayor uso de la tecnología para incrementar la eficiencia en sus diferentes sistemas productivos. Esta tecnología, aunque existe en el mercado generalmente no se encuentra disponible para la mayoría del sector productivo debido a sus elevados costos.

Un factor determinante dentro de los procesos productivos agrícolas es el contenido de humedad de los suelos los que deben tener el contenido de humedad suficiente para el buen desarrollo de las plantas. Este parámetro toma alta relevancia debido a que al ser el agua un elemento poco disponible en la mayoría de los sectores agrícolas se requiere

del uso de dispositivos que permitan realizar un monitoreo continuo de la humedad en los suelos para aplicar de manera oportuna el riego para el cultivo.

A nivel nacional existe una gran deficiencia en el manejo del agua de riego lo cual se debe a una mala infraestructura hidráulica, principalmente en el área de conducción al predominar el riego de gravedad en un 74.9% y de este el 63.59% opera en canales de tierra [1]; esta disponibilidad de agua depende principalmente de la precipitación pluvial la cual es demasiado variable en el caso particular del estado de Durango (Figura 1).

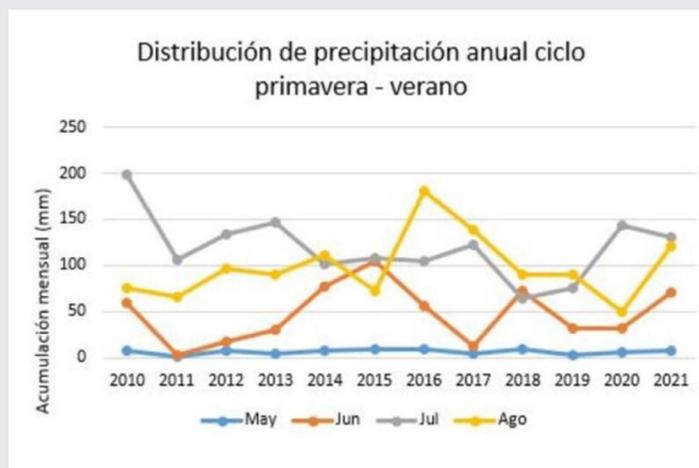


Figura 1. Históricos de precipitación pluvial perteneciente al ciclo primavera-verano en estado de Durango [2].

La falta de humedad en el suelo afecta negativamente al cultivo y, por lo tanto, a su rendimiento; el abastecimiento inadecuado y la pésima programación del riego en los cultivos hacen al agua cada vez más escasa [3], por lo que, una mejor evaluación de las necesidades hídricas de los cultivos permitirá la gestión adecuada del riego y la conservación del agua para la agricultura.

Por ello la generación de nuevos métodos para la administración y cuidado del vital recurso es cada día más necesaria [4].

A partir del año 2000 se ha dado un gran impulso al desarrollo de diversos dispositivos con aplicaciones en el sector agrícola; por ese motivo se han desarrollado sensores inalámbricos tipo red para la AP donde la información se presenta en tiempo real de las condiciones climatológicas y ambientales. En estos dispositivos los sensores se eligen según las propiedades adecuadas para cultivos más comunes y se contemplan cuatro atributos en el suelo: humedad, temperatura, pH y conductividad eléctrica [5].

El uso de dispositivos remotos y manuales en la agricultura, se ha estado implementando para ofre-

cer datos reales a los productores sobre el estado de sus cultivos [6]. La obtención de información de plantas y cultivos sin tener contacto directo hace que su aplicación sea tentadora, ya que es un método no dañino y de bajo costo; la efectividad de la teledetección va de la mano con la capacidad fisiológica de las plantas [7].

Asimismo, el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) se han empezado a utilizar e implementar en todo el ciclo de vida del cultivo, las TIC son importantes al momento de definir sistemas basados en AP, capaces de incrementar el rendimiento del cultivo y optimizar el uso de recursos económicos como fertilizantes, agua y pesticidas, entre otras funciones [8].

Para lograrlo se requieren técnicas, herramientas apropiadas y económicas como sensores de resistencia-tensión del potencial hídrico del suelo, facilidad de instalación y exactitud de medición del potencial mátrico en la retención del agua del suelo, todo lo anterior con la finalidad de incrementar la productividad de sector agrícola [9].

El objetivo del trabajo consistió en desarrollar un dispositivo que permitiera determinar la humedad en los suelos agrícolas y realizar su validación con dos dispositivos comerciales tomando como referencia cuatro tipos de suelos de dos comunidades rurales del municipio de Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de las comunidades.

Se utilizaron como áreas de estudio los suelos agrícolas de las comunidades de Felipe Ángeles y Praxedis Guerrero perteneciente a la Asociación de Usuarios de Riego de la presa Santiago Bayacora del Municipio de Durango, el clima es de tipo seco con temperatura media anual de 17 °C, la precipitación media anual es de 500 mm [10].

Con base en recorridos de campo por las parcelas se realizó una inspección ocular para determinar una posible variación de los suelos, principalmente debido a su coloración; se establecieron cuatro sitios tomando de cada uno de ellos tres muestreos utilizando la técnica del zig-zag [11] a una profundidad de 30 cm. Se determinaron las propiedades físicas y químicas mediante el la NOM-021-SEMAR-NAT-2000 [12].

Dispositivos comerciales.

Se adquirieron dos dispositivos comerciales, de tipo analógico (OEM®, y Nahita®), ambos se utilizaron como referencia tanto en su diseño como en su funcionamiento (Figura 2).



Figura 2. Dispositivos comerciales adquiridos para validación del prototipo. De izquierda a derecha: OEM°, Nahita ° ambos de tipo analógico.

Diseño del dispositivo.

El sistema completo consta de dos módulos, en el primero se encuentran alojados sus componentes electrónicos, un microcontrolador Arduino Mega°, pantalla de visualización tipo OLED, una alarma visual empleando un LED de tipo RGB y sonda de trabajo de tipo industrial (Figura 3), mientras que la segunda parte está únicamente destinada a ser la batería del dispositivo, la cual es recargable y tiene un almacenamiento de 10,000 mA, suficientemente potente para dar una autonomía de más de 5 horas de trabajo ininterrumpido (Figura 4), ambos módulos hechos bajo impresora 3D.

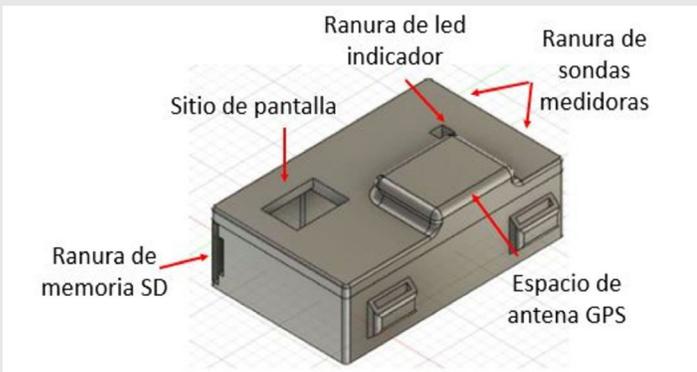


Figura 3. Módulo uno para componentes principales.

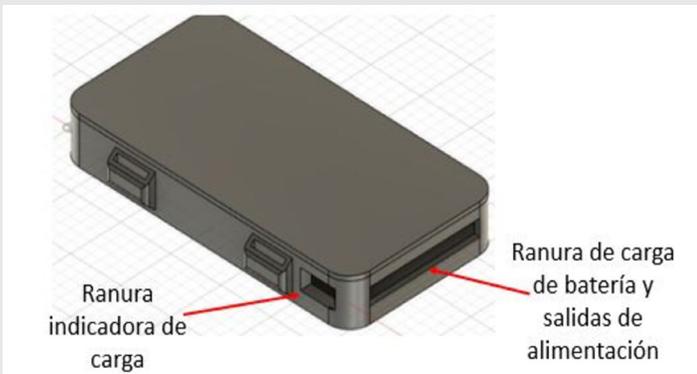


Figura 4. Módulo dos para batería recargable.

Con el fin de facilitar su operación en las parcelas agrícolas se le adicionó un mecanismo de sujeción para el antebrazo del operador, el cual fue diseñado con ayuda de impresora 3D colocando a los costados de cada módulo una especie de ojal mientras que se utilizó como medio de sujeción correas autoadheribles de 1.5 cm de anchura, las cuales dan firmeza y permiten la respiración adecuada del brazo del usuario sin lastimarlo (Figura 5).

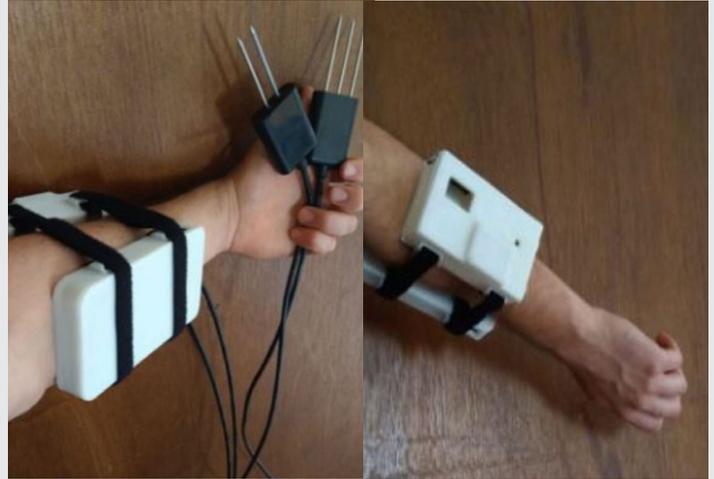


Figura 5. Dispositivo físico colocado en el brazo.

Fase de validación

La validación del dispositivo se realizó mediante la medición de humedad del suelo con el dispositivo desarrollado. Las mediciones se realizaron en las diferentes texturas de los suelos encontrados en las comunidades: franco-arcillo-arenoso, arcilloso, franco arcilloso y arcilloso. Para la toma de lecturas, las sondas de los dispositivos fueron introducidas a 8 cm de profundidad durante el desarrollo del experimento.

Los suelos fueron considerados como tratamientos y colocados en macetas plásticas de las siguientes dimensiones: 40 cm de largo x 25 cm de ancho y 45 cm de profundidad, cada tipo de suelo se tomó como un tratamiento con cinco repeticiones considerando el % de humedad del suelo como variable. Posteriormente se realizó un riego de aniego hasta una saturación total de los suelos en estudio. Se realizaron lecturas con una periodicidad de dos días entre el dispositivo propuesto como de los dispositivos comerciales.

Análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey; el paquete estadístico que se utilizó para analizar los datos fue InfoStat. Los tratamientos fueron distribuidos de manera aleatoria bajo la siguiente manera (Figura 6).

L2	L3	L3	L1	L2	L3	L1	L4	L4	L3
L1	L4	L4	L2	L1	L4	L3	L2	L2	L1
I	II	III	IV	V					

Figura 6. Distribución de los tratamientos.

Donde: L1: Franco-arcillo arenoso, L2: Arcilloso, L3: Franco arcilloso y L4: Arcilloso

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De un total de 600 lecturas realizadas en los tres dispositivos, en el análisis de la varianza no se observó diferencia estadística ($P > 0.05$) entre ellos (Figura 7). Se obtuvo alta correlación entre los valores de humedad obtenidos de entre el dispositivo desarrollado y los comerciales OEM®, y Nahita® ($r = 0.97$ y $r = 0.94$, respectivamente).

Respecto a las diferencias estructurales observadas durante el proceso de validación, el prototipo mostró ventajas en relación al tamaño y resistencia de las sondas debido a que al estar diseñada de acero inoxidable mostró mayor resistencia al momento de su introducción al suelo, menor grado de desgaste y una gran tolerancia al proceso de corrosión respecto a los demás.

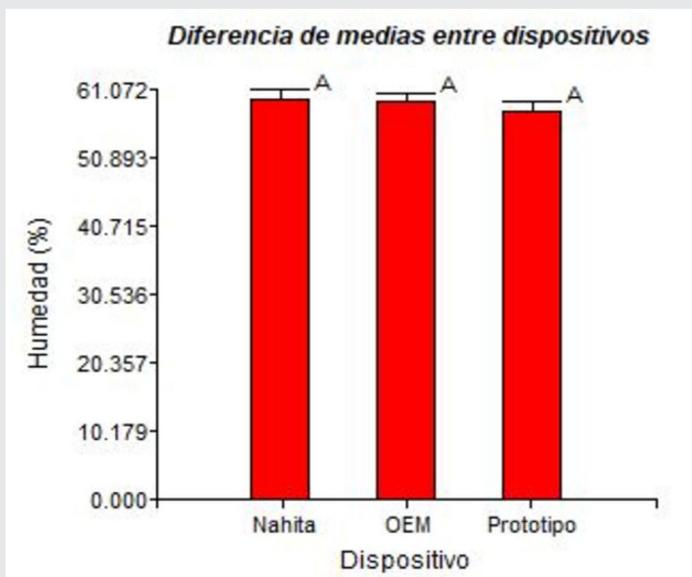


Figura 7. Lecturas promedio de humedad de suelo con paquete estadístico InfoStat.

Durante el proceso de la toma de datos, otra ventaja observada en el prototipo fue que, al haber sido desarrollado para operar de manera digital, originó que se obtuvieran valores más precisos, mientras que los demás al ser de tipo analógico existe el riesgo de obtener posibles errores de medición debido al ángulo de observación (Figura 8).



Figura 8. Pantallas de visualización de datos del dispositivo desarrollado, OEM® y Nahita® respectivamente.

Otra ventaja favorable del dispositivo fue el tiempo de respuesta al momento de la toma de datos al otorgar lecturas más rápidas al usuario; los promedios en segundos fueron los siguientes: Prototipo: 3, OEM®: 6 y Nahita®: 5 respectivamente.

Asimismo, al estar diseñada su estructura con materiales de uso industrial, el dispositivo puede soportar inmersiones totales en líquidos durante un largo tiempo sin tener daños por la calidad del encapsulado que es del tipo IP68, estas ventajas no se observaron en los otros dispositivos evaluados.

CONCLUSIONES

El dispositivo al ser de tipo digital, ofrece valores estabilizados que a diferencia de los de tipo analógico pudieran variar de acuerdo al ángulo y a la posición natural del observador. El dispositivo ofrece lecturas de 0 al 100% con 2 decimales, lo que evita errores de interpretación en las escalas que comúnmente se dan en los dispositivos que son analógicos.

Por la calidad de los materiales y de los sensores, se puede denominar como un dispositivo de uso rudo adecuado para su empleo en la agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

[1] INEGI. (09 de 2019). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - INEGI (Porcentaje de unidades de producción con superficie de riego por sistema de irrigación utilizado). Obtenido de Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - INEGI (Porcentaje de unidades de producción con superficie de riego por sistema de irrigación utilizado), de la página electrónica, <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/#Tabulados>

[2] CONAGUA. (13 de 09 de 2021). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Obtenido de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de la página electrónica, <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.

[3] Reyes González, A., Reta Sanchez, D., Sánchez Duarte, J., Ochoa Martínez, E., Rodríguez Hernández, K., & Preciado Rangel, P. (2019). Estimación de



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

Ensayo de fatiga en una sección de la estructura de un autobús



Colaboración

José Luis Ramírez Cruz, Universidad Autónoma Metropolitana / Unidad Azcapotzalco; José Emiliano Martínez Ordaz, Universidad Iberoamericana / Santa Fe

Fecha de recepción: 20 de agosto de 2021

Fecha de aceptación: 02 de diciembre del 2021

RESUMEN: El objetivo de este trabajo de investigación es reproducir en una probeta, la falla por fatiga que se produce en una sección dañada de una estructura. Se presenta un problema estructural, esto es, la presencia de una fractura en cierto punto de la estructura del autobús, iniciando en este punto y avanzando progresivamente, provocando un daño. Se aplicaron los pasos de una metodología para reproducir físicamente la falla por fatiga en una probeta representativa de una sección de la estructura del autobús, donde se localiza la falla y hasta la instrumentación de la máquina de ensayos y la realización del ensayo de fatiga. Posteriormente se analizan los resultados y se hacen las conclusiones en base a resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio.

PALABRAS CLAVE: Falla, fatiga, fractura, esfuerzo, deformación.

ABSTRACT: The objective of this research work is to reproduce in a test specimen, the fatigue failure that occurs in a damaged section of a structure. There is a structural problem, that is, the presence of a fracture at a certain point in the structure of the bus, starting at this point and growing progressively, causing damage. The steps of a methodology were applied to physically reproduce the fatigue failure in a representative specimen of a section of the bus structure, where the failure is located and up to the instrumentation of the testing machine and performance of the fatigue test. Subsequently, the results are analyzed and conclusions are made based on the results obtained in the laboratory test.

KEYWORDS: Failure, fatigue, fracture, stress, deformation.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de los ensayos de fatiga es obtener información respecto al comportamiento a la fatiga de un material y/o una geometría en particular [1]. El ensayo de fatiga es necesario para obtener información básica sobre las propiedades del material, de la misma manera se obtiene información sobre la resistencia a la fluencia y el módulo de elasticidad de un material a partir de un ensayo de tensión. En cuanto sea posible, las condiciones del material, los intervalos del esfuerzo y el tipo de carga deben ser similares a las condiciones reales de servicio, con el fin de que los resultados sean útiles para el diseño. Son usados diversos tipos de cargas de

fatiga, de especímenes, de ambientes, y de equipo de prueba [2]. Los ensayos de fatiga requieren generalmente dedicación y tiempo de experimentación significativo, implicando que estos ensayos sean costosos con respecto a ensayos simples para determinar otras características mecánicas. Se requiere de inversiones grandes en programas experimentales de fatiga, de un planeamiento cuidadoso del programa de prueba, de los procedimientos experimentales, y la evaluación de los resultados. El planeamiento debe comenzar siempre con una definición explícita del problema que se investigará. En general se consideran, dos tipos de ensayos de fatiga [3]:

1. Ensayos de laboratorio en pequeña escala, para obtener información fundamental sobre el comportamiento del material, Figura 1.

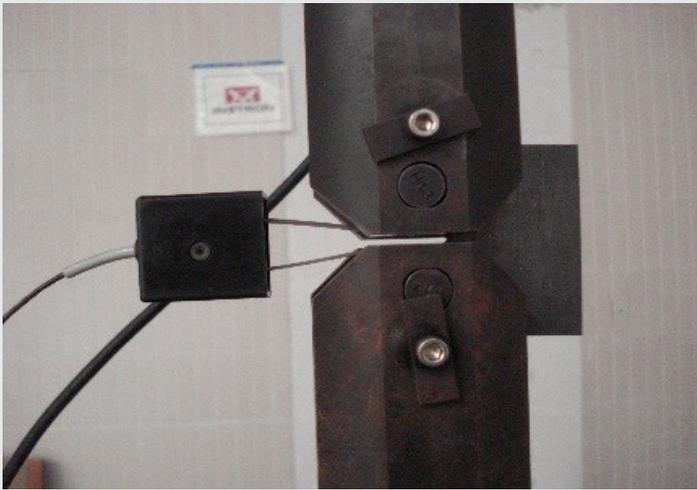


Figura 1. Ensayo de crecimiento de grieta.

2. Ensayos de elementos reales, como son componentes de máquinas o estructuras. Estos ensayos se efectúan en prototipos de componentes reales o se realizan simulaciones computacionales de componentes estructurales reales bajo condiciones que simulan las solicitaciones y el ambiente real. Estos ensayos tendrán que llevarse a cabo sobre modelos a escala natural, con el objeto de reproducir de un modo más adecuado las condiciones reales de funcionamiento de la estructura y conocer así su conducta hasta estados límites de rotura. Por lo tanto, se ensayan probetas simples que simulan a los componentes estructurales. Generalmente, estas probetas se prueban hasta la falla para obtener la información sobre la vida total en fatiga de los componentes. Rara vez es posible utilizar cargas de servicio reales, por lo que los ingenieros requieren una especificación reducida, que aún así, sea representativa del entorno operativo. Sin embargo, estos ensayos son difíciles de realizar, consumen tiempo, y generalmente son muy costosas.

Generalmente, estos ensayos en componentes reales (o simulados) se llevan a cabo para obtener informa-

ción sobre su duración total. Para realizar estos ensayos de fatiga se construyen estructuras y dispositivos [4]. Puesto que se ensayan elementos reales, la información obtenida se puede utilizar directamente en el diseño. En la Figura 2 se observa un ensayo del chasis completo de un vehículo con 12 actuadores hidráulicos suministrando cargas verticales, laterales y longitudinales en las cuatro esquinas del vehículo de prueba.



Figura 2. Ensayo de vehículo.

Estructuras grandes, como por ejemplo un automóvil, un autobús o la estructura un avión, requieren equipo de prueba especializado. La estructura es cargada generalmente por actuadores hidráulicos, con sus sistemas electrohidráulicos controlados por una computadora.

En la industria automotriz se hace un tipo de ensayos en automóviles completos [5]. Una prueba en tamaños reales con una correcta selección de carga de servicio debe revelar cualquier debilidad de la estructura, para modificarla antes de que se inicie la producción en serie. De hecho, tal prueba se hace sobre todo, para considerar si todas las partes de la estructura están funcionando correctamente, sin el deterioro de cualquier parte de la estructura después de un tiempo de ensayo. En la industria aeronáutica, los ensayos también se realizan para probar la seguridad de los aviones y para cumplir con las normas de navegación.

En este trabajo se plantea el problema de reproducir una falla mecánica relacionada con una estructura, es la parte central y se tiene como objetivo mostrar el uso de una metodología.

MATERIAL Y MÉTODOS

El problema es una pregunta surgida de un tema o investigación. Una de las dificultades mayores del investigador es planear y delimitar el problema de estudio [6].

El motivo de la investigación

Lo que motiva a esta indagación o investigación se sintetiza de la manera siguiente:

“En una estructura de un autobús se ha observado una falla debido a un conjunto de solicitaciones, Figura 3. De tal observación y haciendo un análisis de elementos finitos se detectó y ubicó el punto de inicio de la falla. Lo que motiva a esta investigación es reproducir dicha falla realizando ensayos en un laboratorio.”

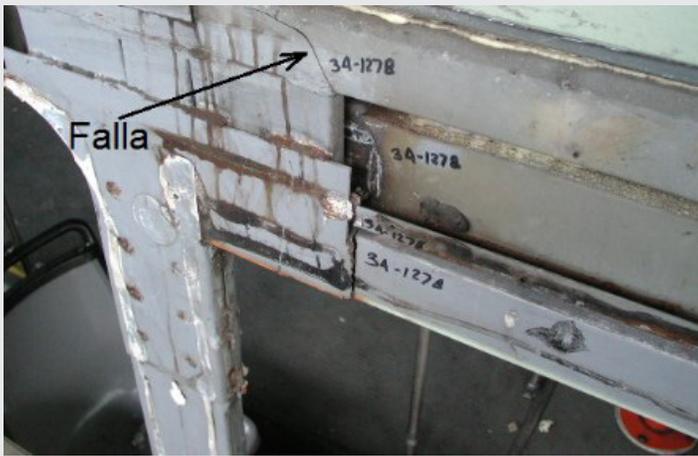


Figura 3. Falla en la estructura del autobús.

Utilizando un análisis computacional en investigaciones recientes, se han identificado los detalles estructurales más cargados en carrocerías [7], que muestran coincidencia con los puntos críticos propensos a fallas estudiados en esta investigación.

Definición del problema y restricciones

Considere el siguiente problema:

“Se requiere reproducir en el laboratorio una falla que ocurre en una estructura de un autobús”.

Es importante conocer el comportamiento mecánico de la estructura del autobús con el estado de solicitaciones que están provocando la falla.

Las restricciones fundamentales son las siguientes:

- La zona de análisis es fija y conocida.
- El tiempo estimado del ensayo es de 24 horas.
- La carga de la máquina de ensayos que se puede aplicar es uniaxial.
- Se considera carga de torsión.
- El análisis es dinámico.
- La falla y sus características son fijas y conocidas.
- El ensayo realizado es por fatiga, en una máquina Instron servohidráulica.

Con el problema formulado anteriormente y sus restricciones encuéntrese:

- 1) Las solicitaciones que reproducen el estado de esfuerzos particular en una zona elegida de la estructura.
- 2) Utilizar los parámetros (solicitaciones) para diseñar una probeta.
- 3) Obtener un parámetro dinámico para someter la probeta a un ensayo bajo condiciones controladas.
- 4) Reproducir la falla.

Hipótesis y premisas básicas

Considerando la siguiente hipótesis:

“La falla en un punto crítico de la estructura del autobús puede ser reproducida en laboratorio bajo condiciones de carga controladas. La determinación de las causas y la reproducción de la falla dependen de:

1. Del principio de Saint Venant.

2. La carga de aplicación del ensayo es la resultante de las solicitaciones a las que se sujeta la estructura.
3. La fuerza actuante en el problema dinámico depende del tiempo estimado del ensayo y del número de ciclos de aplicación.
4. El problema de la falla satisface las Leyes de Newton.
5. Se propone una carga de torsión en un punto crítico como posible causa de la “falla”.

Las premisas básicas son las siguientes:

1) El principio de Saint Venant. Un sistema de cargas aplicadas a un medio puede ser sustituido por otro sistema estáticamente equivalente. El estado de esfuerzos y deformaciones del medio no varía a una distancia considerable de los puntos de aplicación del sistema de cargas equivalente.

2) La carga de aplicación del ensayo es la resultante de las solicitaciones a las que se sujeta la estructura. Si por las características de operación de la máquina de prueba la aplicación de la carga debe ser uniaxial, entonces todo sistema equivalente de cargas relacionado con la estructura debe ser reducida a la resultante de tales cargas. La resultante es igual a la carga uniaxial requerida en la máquina de ensayos.

3) La fuerza actuante en el problema dinámico depende del tiempo estimado del ensayo y del número de ciclos de aplicación. Si la reproducción de la falla debe darse dentro de 24 horas, entonces la fuerza dinámica que debe aplicarse es función los parámetros de operación de la máquina de ensayos, del tiempo estimado de prueba y del número de ciclos de aplicación en el ensayo de fatiga.

4) El problema de la falla satisface las Leyes de Newton:

I) Ley de inercia.

II) Leyes de balance.

III) Principio de acción y reacción.

5) La causa del problema de la falla es por torsión. Se pueden hacer algunas generalizaciones. Las secciones sólidas que tienen la misma área de sección transversal son más rígidas. Por otra parte, un elemento compuesto de perfiles largos esbeltos que no son cerrados como un tubo son muy débiles y flexibles a torsión. Algunos ejemplos de perfiles flexibles son los perfiles estructurales comunes, por ejemplo canales, ángulos y tes. Los tubos, las barras sólidas y los tubos rectangulares estructurales son muy rígidos.

Metodología

En esta sección se proponen los pasos de la metodología que se utilizó para reproducir la falla en el laboratorio.

I. Pasos para la construcción de la probeta y el sistema de carga:

- Diseñar una probeta real (una porción de la sección estructural) hecha del material del autobús donde se localice la región de análisis (región donde se reproducirá la falla).

- Diseñar el sistema (marco) de carga para realizar el ensayo de fatiga.

- Montar la probeta en la máquina de prueba e incorporar el sistema de carga.

La Figura 4 muestra la probeta que representa físicamente la sección superior derecha del marco de la puerta delantera del camión, la cual será sometida al ensayo de fatiga.

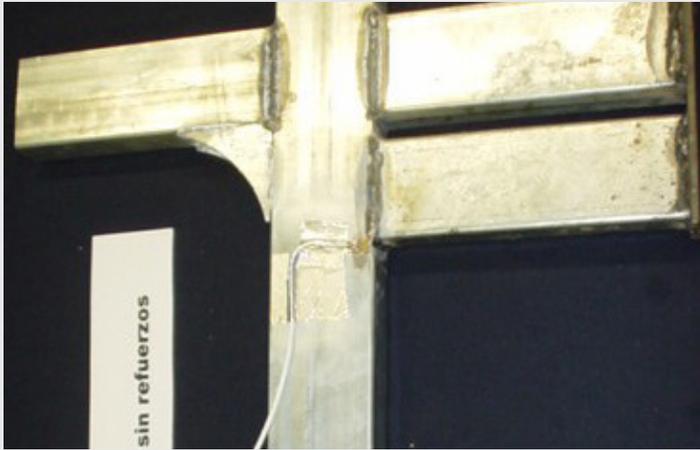


Figura 4. Probeta de la estructura del autobús.

La Figura 5 muestra la probeta montada en la máquina de fatiga y el dispositivo de carga, que se usaron. Se construyó un marco para colocarse dentro de la máquina de ensayos.

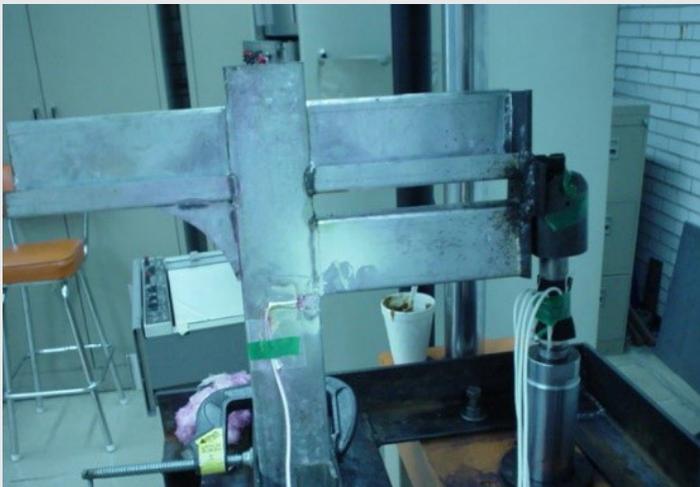


Figura 5. Probeta montada en la máquina.

II. Pasos para la instrumentación de la probeta y el sistema de cargas:

- Instrumentar con extensómetros eléctricos en el lugar de inicio de la falla.
- Instrumentar una celda de carga y adaptarla al elemento o dispositivo con el cual se aplicará la carga de trabajo.

III. Pasos para la preparación del ensayo en el laboratorio:

- Aplicar líquidos penetrantes sobre la probeta de ensayo y para detectar posible fisuras antes de aplicar la carga.

- Conectar el extensómetro localizado en el punto de inicio de la falla y la celda de carga a un osciloscopio.

Las deformaciones fueron monitoreadas mediante de galgas extensométricas durante el ensayo.

IV. Pasos de acción del ensayo en el laboratorio:

- Aplicar la carga estática obtenida para medir los esfuerzos máximos en el punto de inicio de la falla.
- Aplicar la carga dinámica e iniciar el ensayo de fatiga.
- Controlar durante el ensayo la magnitud de la fuerza aplicada.
- Registrar el número de ciclos aplicado.
- Registrar el número de ciclos a partir del cual se representa una grieta en el punto crítico.
- Continuar el ensayo para observar el crecimiento de la grieta.
- Detener el ensayo.

RESULTADOS

Con base en la metodología mostrada, fue posible realizar el ensayo de fatiga en la sección estructural descrita en esta investigación. Los resultados obtenidos en el ensayo realizado en la probeta se muestran en la Tabla 1, son válidos para la ubicación en donde se inició una grieta por fatiga en la probeta.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el ensayo realizado.

Parámetros	Probeta 1
Frecuencia cíclica	2 Hz
Solicitación	350 Kg
Ciclo de inicio de grieta	15,000 ciclos
Ciclo final del ensayo	40,000 ciclos

La gráfica de la Figura 6 se obtiene multiplicando la fuerza (solicitación) por un factor igual a 3. Se invirtió la fuerza para obtener esfuerzo de tensión en la esquina deseada. Se interpreta en la gráfica que la probeta se puede agrietar entre 1,500 y 20,000 ciclos de aplicación de la carga.

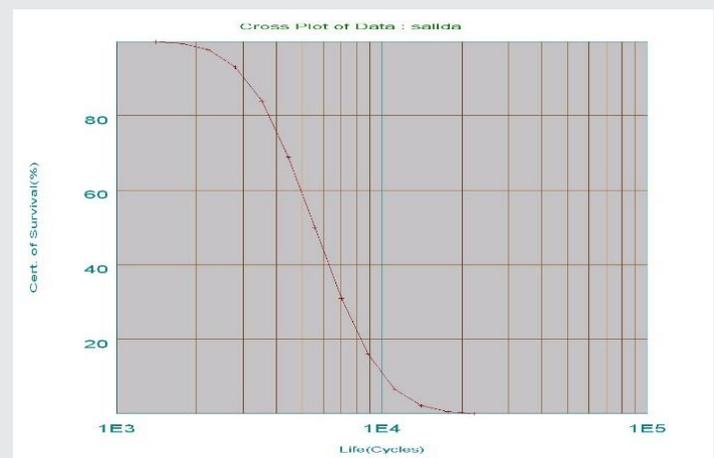


Figura 6. Gráfica para la predicción de ciclos.

La Figura 7 muestra la fractura en la probeta que representa físicamente la sección superior derecha del marco de la puerta delantera, después del ensayo de fatiga.



Figura 7. Grieta resultante del ensayo de fatiga.

CONCLUSIONES

La utilización de una metodología de trabajo fue decisiva en la solución del problema que se planteó para la elaboración de esta investigación. Es importante considerar que no existe un medio teórico confiable para predecir exactamente cuándo se iniciará una grieta por fatiga. En su lugar, se deben realizar ensayos experimentales para obtener información.

Al no poder realizar ensayos en la estructura real, debido a no tener la infraestructura, se probó parte de la estructura en un ensayo de fatiga. Por la complejidad y el alto costo del análisis por fatiga en sistemas completos fue imprescindible recurrir a ensayos de laboratorio sobre prototipos (probetas). Por lo tanto, se utilizó una probeta simple que simuló al componente estructural físico.

Se logró reproducir el punto de inicio de grieta y su crecimiento en una probeta en el laboratorio mediante el ensayo experimental de fatiga, en la sección de la esquina superior derecha del marco de la puerta delantera del camión, la probeta se ensayó hasta la falla para obtener la información sobre la vida total de fatiga del componente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Dowling, Norman E. (2013). *Mechanical behavior of materials*, (Fourth edition). Pearson. England.

[2] Marsh, K. J. (1988). *Full-scale fatigue testing of components and structures*. Butterworths. England.

[3] Barsom, John M. & Rolfe, Stanley T. (1999). *Fracture and fatigue control in structures: Applications*

of fracture mechanics. (Third edition). ASTM. USA.
[4] Jiménez M. Moisés. (2013). *Optimización de dispositivos para prueba de fatiga*. Revista Ingeniería, 16(59), 6-12.

[5] Kepka, M., Kepka, M. Jr., Zlabek, P., Chvojan, J. & Mentl, V. (2018). *Fatigue tests-important part of development of new vehicles*. MATEC Web of Conferences 165.

[6] Roqueñi I. Maria del Carmen. (2014). *Reflexiones sobre la investigación*. UNAM. México.

[7] Kepka, M., Kepka, M. Jr., Dzugan, J. & Konopik P. (2019). *Practical notes for assessing the fatigue life of bodyworks of buses and trolleybuses*. *Procedia Structural Integrity*, 19, 595-603.

[8] Seo, Jung-Won, Hur, Huyn-Moo, Jun, Hyun-Kvu, Kwon, Seok-Jin & Lee, Dong-Hyeong. (2017). *Fatigue design evaluation of railway bogie with full-scale fatigue test*. *Advances in Materials Science and Engineering*.

[9] Gere, M. James & Goodno J. Barry. (2016). *Mecánica de materiales*, (Octava edición). Cengage Learning. México.

[10] Freddi, A., Olmi, G. & Cristofolini L. (2015). *Experimental stress analysis for materials and structures*. Springer. Switzerland.

[11] Kepka, M. & Kepka, M. Jr. (2021). *Consideration of random loading processes and scatter of fatigue properties for assessing the service life of welded bus bodyworks*. *International Journal of Fatigue*, 151.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Influencia del tipo de elemento finito en perfiles laminares para el cálculo de esfuerzos y deformaciones



Colaboración

Miguel Alberto Domínguez Gurría; Ulises Augusto Jaen Rendon, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Fecha de recepción: 13 de agosto de 2021

Fecha de aceptación: 26 de abril de 2022

RESUMEN: En este trabajo se presenta un estudio comparativo de la influencia del tipo de elemento y el tamaño de malla para el cálculo de esfuerzos y deformaciones máximas en una viga en “voladizo” de sección rectangular mediante el método de elemento finito, teniendo como referencia resultados obtenidos mediante un análisis analítico, utilizando las ecuaciones para el caso particular de una viga en “voladizo”. Se compararon los resultados obtenidos empleando elementos sólidos continuos y tipo Shell 3D. Mostrando diferencias hasta de un 50% en el tiempo de cómputo ocasionado por el tipo de elemento, así como del tamaño de la malla utilizada, mientras que, los resultados de esfuerzos máximos para los elementos shell y sólidos presentan una diferencia del 5% y 13% respectivamente con respecto a los analíticos.

PALABRAS CLAVE: Elemento Finito, Elementos sólidos, Shell, Vigas.

ABSTRACT: In this work presents a comparative study of the influence of the type of element and mesh size for the calculation of maximum stresses and deformations in a cantilever beam of rectangular section by means of the finite element method, taking as reference results obtained by means of an analytical analysis, using the equations for the particular case of a cantilever beam. The results obtained using continuous solid elements and 3D Shell type were compared. Showing differences of up to 50% in the computation time caused by the type of element, as well as the size of the mesh used, while the results of maximum stresses for shell and solid elements show a difference of 5% and 13% respectively with respect to the analytical ones.

KEYWORDS: Finite element, solid element, Shell, beam.

INTRODUCCIÓN

El método de elementos finitos (FEM por sus siglas en inglés) forma parte importante de la mecánica computacional y las matemáticas aplicadas, y ha sido ampliamente adoptado en la investigación científica y aplicaciones de ingeniería [1].

El método de elementos finitos es un método numérico para resolver problemas de ingeniería y física matemática [2]. Las áreas de problemas de interés que se resuelven con este método incluyen análisis estructural, transferencia de calor, flujo de fluidos, entre otros [2]. Para problemas que involucran geometrías, cargas y propiedades de materiales complejas, generalmente no es posible obtener soluciones matemáticas analíticas [3].

Desde hace muchos años, el método de elemento finito se considera un método numérico y matemático bien definido, para simular y analizar una gran variedad de problemas con distintas condiciones límites [4].

El método de elemento finito se considera versátil y ha encontrado aplicaciones en diversos problemas de índole ingenieril. En la actualidad, hay más de 100,000 ingenieros que utilizan dicho método [5].

El progreso del análisis de elementos finitos coincide directamente con la accesibilidad y asequibilidad de potentes arquitecturas de cálculo (ordenadores)

[6], siendo que, esta herramienta se utiliza cuando se trata de construcciones complejas (cuerpos), propiedades de los materiales, cargas aplicadas y restricciones, donde los resultados de la aproximación real no pueden ser realizados [6].

El procedimiento general al realizar un análisis de elemento finito puede dividirse en tres grupos principales: preprocesamiento, solución y post-procesamiento. El preprocesamiento abarca todas las condiciones de contorno, la selección y aplicación de materiales y la generación y modificación de la malla; también pueden aplicarse parámetros adicionales como la suavidad de la superficie, la interacción y la frecuencia, etc. La segunda es la solución de la tarea y puede describirse como la resolución de números no identificados del campo primario de variables. El último es el post-procesamiento del problema. El post-procesador comprende sofisticadas rutinas utilizadas para trazar gráficos e ilustrar los resultados [7].

En las últimas décadas, se han propuesto alternativas computacionales comerciales, para el apoyo de la resolución de problemas ingenieriles. Estos sistemas utilizan el método de elementos finitos en sus soluciones, con los cuales se desarrolla y evalúa el rendimiento y fiabilidad de los productos en la industria [8]. La precisión del resultado obtenido está determinada por el tamaño de la malla o de la discretización de los elementos, con un tamaño pequeño de elemento (mayor número de elementos) se obtiene una alta precisión en comparación con un tamaño grande (menor número de elementos) [9].

Hay muchos tipos diferentes de elementos utilizados en el análisis de elementos finitos. Estos elementos se desarrollan de forma independiente y varían de un software de elementos finitos a otro. En general, existen tres grupos de elementos: unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D). Lógicamente, todas las estructuras virtuales deben modelarse lo más cerca posible de la estructura real. Los analistas deben aprender cuándo pueden utilizarse otros tipos de elementos y son válidos para representar la estructura de ingeniería [10].

Dependiendo de la geometría, el modelo puede crearse utilizando diferentes tipos de elementos, como son los Carcasa o "Shell" y elementos sólidos, ambos "3D". Esto según sea conveniente para los análisis que se realizarán.

En este estudio, se aborda de forma analítica y numérica la deformación de una viga en voladizo sometida a flexión. Comparando el uso de elementos carcasa y sólidos para la resolución del sistema, con esto observar las diferencias entre los resultados y el tiempo de cómputo para cada análisis. El sistema se resuelve analíticamente calculando el valor máximo de desplazamiento. Este artículo proporcionará información fundamental relativa a al-

gunos de los elementos finitos utilizados en el modelado por el software comercial, sin embargo, no puede incluir todos los diferentes tipos de elementos finitos, que son inmensos y tan especializados que están más allá de los límites de este estudio.

Método de elemento finito

La formulación de elementos finitos del problema da como resultado un sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas para su solución [2]. Estos métodos numéricos producen valores aproximados de las incógnitas en números discretos de puntos en el continuo. Por lo tanto, este proceso de modelar un cuerpo dividiéndolo en un sistema equivalente de cuerpos o unidades pequeñas (elementos finitos) interconectados en puntos comunes a dos o más elementos (puntos nodales) se le llama discretización [4].

Los nodos generalmente se encuentran en los límites del elemento, donde se conectan con elementos adyacentes. Además de los nodos de límite, un elemento puede tener algunos nodos interiores. La naturaleza de la solución y el grado de aproximación dependen del tamaño y número de los elementos utilizados.

En el método de elementos finitos (FEM), los elementos tipo "Shell" se pueden utilizar para obtener resultados efectivos. El utilizar este tipo de elementos puede conducir a un gran ahorro de tiempo computacional, ya que permite modelar características delgadas con menos elementos de malla. Los elementos tipo "Shell" también presentan facilidad de mallado y son menos propensos a errores jacobianos negativos que pueden ocurrir cuando se utilizan características sólidas extremadamente delgadas [11]. Los elementos tipo carcasa (Shell) se utilizan para modelar estructuras en las que una dimensión, el espesor, es significativamente menor que las otras dimensiones. Los elementos de carcasa convencionales utilizan esta condición para discretizar un cuerpo definiendo la geometría en una superficie de referencia. En este caso, el espesor se define mediante la definición de una propiedad de la sección geométrica.

Un modelo sólido es un elemento estándar donde el material está representado en todo el componente/estructura. Un elemento tipo "Shell" es hueco en el interior y modela el "caparazón" exterior. Los elementos tipo "Shell" son una simplificación matemática de sólidos de forma especial. Los elementos tipo "Shell" (como las vigas delgadas) no consideran la tensión en la dirección perpendicular a la superficie de la carcasa. Las carcasas gruesas (como las vigas gruesas) pueden considerar las tensiones a través del espesor de la cáscara, en la dirección normal a la superficie media, y dar cuenta de la deformación por cortante.

Los elementos sólidos "3D" son los mayormente utilizados en piezas que su geometría no es regular o compleja. Detallando más la forma geometría. En este tipo de

elemento se pueden visualizar y analizar los esfuerzos y tensiones en cualquiera de sus direcciones.

Las placas/láminas son elementos estructurales planos, cuyo espesor es menor que las otras dos dimensiones; las cuales, son clasificadas en función de la relación entre el espesor y la dimensión característica. Una placa se define como delgada si cumple t/dim característica $< 1/20$; o placa gruesa, en caso contrario.

En el método de elementos finitos (FEM), existen diversas estrategias a seguir, que permiten obtener los resultados deseados. El modelado más sencillo y menos costoso computacionalmente, frente a otras técnicas es la utilización de elementos tipo Shell. Los elementos tipo shell también presentan facilidad de mallado y son menos propensos a errores jacobianos negativos que pueden ocurrir cuando se utilizan características sólidas extremadamente delgadas [11].

Shell convencional: Discretizan el sólido definiendo la geometría sobre una superficie de referencia, definiéndose el espesor en las propiedades de la sección. Como grados de libertad constan de tres traslaciones y dos/tres giros, dependiendo del tipo de elemento.

Shell continuo: Respecto a las placas convencionales, se discretiza el sólido completo en tres dimensiones, con lo cual, el espesor viene determinado por la propia geometría. Además, solo disponen de grados de libertad en traslaciones. Sin embargo, cuentan con una gran ventaja frente a las anteriores, ya que proporcionan estimaciones de las tensiones transversales.

El modelado de los elementos continuos se realiza de igual modo que el modelado de sólidos continuos tridimensionales, aunque las ecuaciones constitutivas son similares a las ecuaciones de láminas convencionales. Las diferencias entre ambos modelados shell se muestran en la Figura 1.

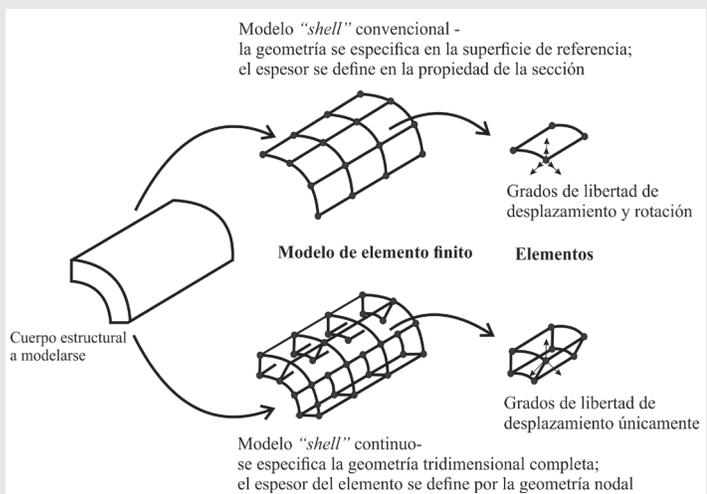


Figura 1.- Comparación de los Elementos Tipo Shell

Tabla 1.- Comparación de elementos shell

Elemento	Nodo	Tipo	Puntos de Integración	Grados de libertad por nodo
C3D8	8	Lineal	8	3
C3D8R	8	Lineal	1	3
C3D20	8	Cuadrático	27	3
D3D20R	20	Cuadrático	8	3

Otras características de los diferentes tipos de elementos shell se enlistan a continuación:

- El elemento cuadrático por defecto (S8R) no es adecuado para problemas de placa delgada.
- El elemento lineal es menos costoso computacionalmente.
- El elemento S4R5 sólo es recomendable en problemas de placa delgada. Consta de un grado de libertad menos por nodo (tres traslaciones y dos rotaciones) respecto de los demás elementos shell convencionales.
- Los elementos S4R, S4 y SC8R son válidos para problemas de placa delgada y gruesa.
- El uso de la integración reducida permite reducir el tiempo computacional, para ello se reduce el número de puntos de integración en cada elemento. En la Figura 2 se aprecia la posición, número de nodos y puntos de integración de los elementos mencionados.

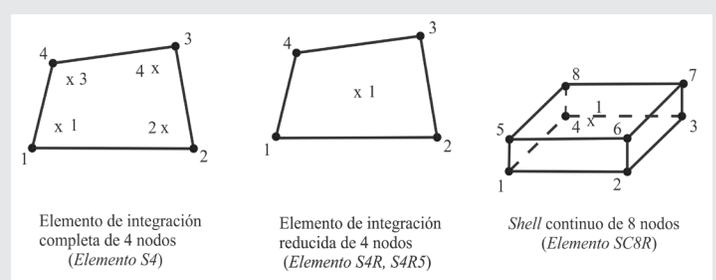


Figura 2.- Puntos de Integración para Diversos Elementos Shell

Otra técnica para la realización del modelo, consiste en la utilización de elementos sólidos. La ventaja fundamental respecto de los anteriores, radica en la obtención directa de las tensiones transversales. Sin embargo, la utilización de esta técnica supone mayor tiempo computacional. En cada nodo existen tres grados de libertad, correspondientes a las tres traslaciones de un problema tridimensional. En la Tabla 2 se muestra una comparativa de los diferentes tipos de elementos sólidos:

Tabla 2.- Comparación de elementos sólidos

Elemento	Nodo	Tipo	Puntos de Integración	Grados de libertad por nodo
S4	4	Convencional	4	6
S4R	4	Convencional	1	6
S4R5	4	Convencional	1	5
SC8R	4	Continuo	1	3

Otras características de los diferentes tipos de elementos sólidos se enlistan a continuación:

- En elementos reducidos de primer orden, C3D8R, puede aparecer el problema de Hourglass. Se hace necesaria la implementación de rigidez artificial que evite este tipo de desplazamiento sin esfuerzo.

- Los elementos con integración completa no sufren Hourglass, pero son sensibles a sufrir comportamiento de bloqueo (volumétrico y cortante). El bloqueo a cortante da lugar a esfuerzos cortantes ficticios, por lo que los elementos se hacen muy rígidos a flexión. El bloqueo volumétrico, da lugar a tensiones de presión ficticias, provocando un comportamiento demasiado rígido ante deformaciones que no deberían ocasionar cambios de volumen.

Análisis teórico de esfuerzo en vigas

En mecánica de sólidos se han introducido numerosas teorías para el modelado estructural y el análisis de vigas. La teoría de vigas, tiene un papel importante en el análisis estructural porque proporciona una simple herramienta para analizar numerosas estructuras [12].

Con la finalidad de tener otra referencia comparativa a los resultados numéricos, se obtuvieron resultados de manera analítica utilizando las ecuaciones de deflexión de vigas, para el caso particular “viga en voladizo” [13].

Las ecuaciones para representar los esfuerzos normales en flexión en vigas rectas se basan en los siguientes supuestos [14]:

- La viga se somete a flexión pura; esto significa que la fuerza cortante es nula.
- El material es isotrópico y homogéneo.

La viga es recta, con una sección transversal constante en toda su longitud.

- La viga tiene un eje de simetría en el plano de flexión.

En la Figura 3 se presenta el diagrama de cuerpo libre de la viga analizada.

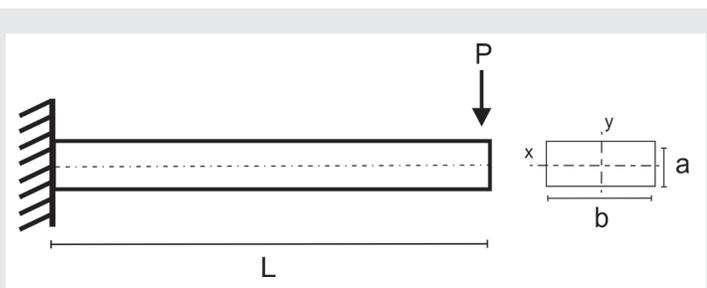


Figura 3.- Diagrama de cuerpo libre para una viga en voladizo

Para obtener la deflexión máxima ocasionada por una carga en el extremo libre se utilizó la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \tag{Ec. (1)}$$

Donde P representa la carga en el extremo libre, L la longitud de la viga, I el segundo momento de área y E el módulo de elasticidad.

Con lo que respecta al esfuerzo máximo en la viga debido a la flexión, se utilizó la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \tag{Ec. (2)}$$

Donde M representa el momento de flexión ocasionado por la carga en el extremo libre, I el segundo momento de área y c es la distancia del eje neutro a la superficie donde se aplica la carga.

La viga analizada en el transcurso de todo el trabajo será de material aluminio 6063-T5, con propiedades mostradas en la Tabla 3. Teniendo una longitud total de 440 mm, siendo sujetado por 40 mm en un extremo, cuenta con un espesor de 6 mm y 50 mm de ancho.

Tabla 3.- Propiedades mecánicas del aluminio 6063-T5[11].

Propiedades	Valor
<i>Módulo de elasticidad [MPa]</i>	66940
<i>Densidad [$\frac{Kg}{m^3}$]</i>	2700
<i>Coefficiente de poisson</i>	0.33

Una viga es considerada corta, cuando la proporción $L/h < 15$ [16], si esta condición no se cumple, se omite el efecto de los esfuerzos cortantes en la deformación provocada por el momento de flexión aplicado. Para el planteamiento del sistema, se considera la deformación provocada por flexión pura [16].

Con las propiedades y dimensiones del aluminio, se sustituyen en las ecuaciones 1 y 2 para obtener la deformación y el esfuerzo máximos.

$$\delta = \frac{(100N)(400mm)^3}{3(66940MPa)(900mm^4)} \tag{Ec. (3)}$$

$$\sigma = \frac{(100N)(400mm)(3mm)}{900mm^4} \tag{Ec. (4)}$$

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos mediante las ecuaciones 3 y 4.

Tabla 4.- Resultados analíticos para la viga de valedizo.

Parámetro	Valor
<i>Deformación máxima [mm]</i>	35.41
<i>Esfuerzo máximo [MPa]</i>	133.33

Análisis numérico de esfuerzo en vigas

Se realizaron dos modelos discretos utilizando el software Abaqus, el primero está constituido de elementos sólidos 3D, mientras que el segundo está constituido por elementos tipo “Shell”. Los modelos se validaron con los resultados obtenidos teóricamente. La descripción del modelo se presenta a continuación.

Ambos modelos representan una viga de sección cuadrada en voladizo, en la cual se realiza el empotramiento en una partición al extremo de la viga, como se muestra en la Figura 4.

El tiempo que tarda el análisis en concluir (tiempo de cómputo), depende de diversos aspectos que conforman el modelo, como son, las condiciones de frontera, la cantidad de nodos, los materiales empleados, el tipo de resolución, entre otros [17]. Estas características definen la complejidad del modelo, de igual manera, las especificaciones del equipo de cómputo donde se realizan las simulaciones, como son, el procesador, memoria RAM, entre otros, influyen en el tiempo de resolución. Este trabajo se realizó con un procesador Core i3 10th Gen con gráficos integrados y 8GB de memoria RAM.

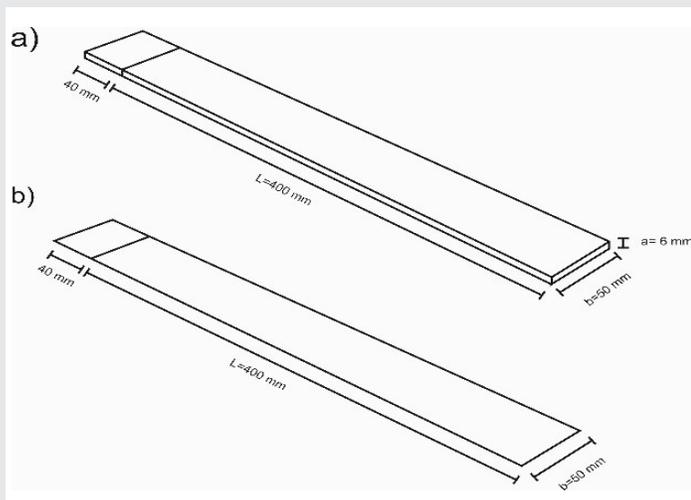


Figura 4.- Dimensiones de la viga, donde a) viga con elementos sólidos 3D, b) viga con elementos tipo "Shell"

Modelo discreto con elementos tipo shell

El modelo discreto de la viga se considera como material deformable utilizando elementos S4R (Shell con 4 nodos, método de integración Reducida). En la Figura 5 se presentan las condiciones de frontera del modelo discreto, las cuales consisten en el empotramiento de un extremo de la viga y una carga en el extremo opuesto.

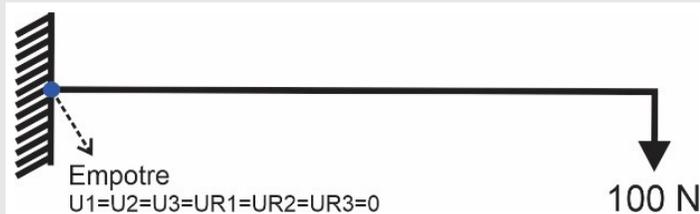


Figura 5.- Condiciones de frontera considerando elementos tipo "Shell"

Se realizó un análisis de convergencia de malla para obtener un tamaño apropiado de elementos, el cual, resolviera satisfactoriamente la problemática teniendo como referencia los resultados obtenidos analíticamente y comparando los tiempos de cómputo. En la Figura 6 se muestran los tamaños de malla de 1 mm, 2 mm, 4 mm y 6mm.

Tamaños de malla

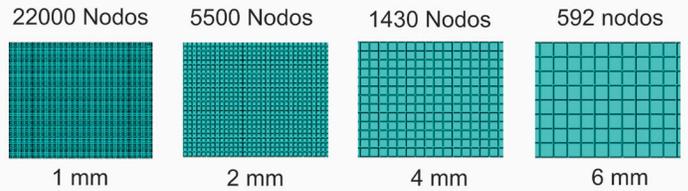


Figura 6.- Tamaños de malla

En la Figura 7 se muestra la distribución de esfuerzos de Von mises con una malla de 4 mm.

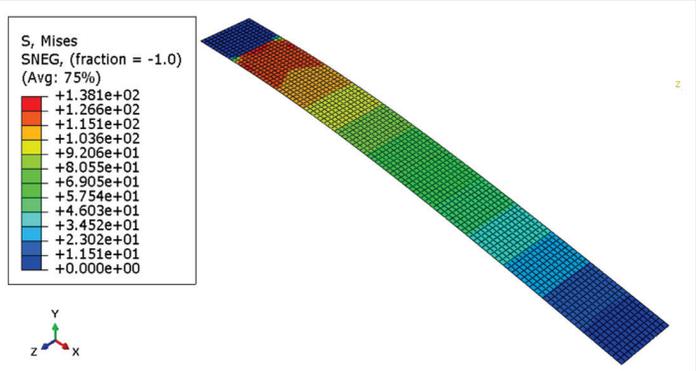


Figura 7.- Distribución de esfuerzos de Von Mises

En la Tabla 5 se muestra la comparación de la deformación máxima, el esfuerzo máximo y el tiempo de cómputo para cada tamaño de malla analizado.

Tabla 5.- Comparación de resultados para diferentes tamaños de malla

Tamaño de malla	Numero de Nodos	Deformación [mm]	Esfuerzo máximo [MPa]	Tiempo de cómputo [s]
1 mm	22000	34.96	141.9	24
2 mm	5500	34.96	140.6	11
4 mm	1430	34.96	138.1	11
6 mm	592	34.95	135.6	11

Modelo discreto con elementos tipo shell

El modelo discreto considerando elementos C3D8R (desplazamiento/esfuerzo Continuo, elemento 3D, 8 Nodos, integración Reducida), considerando la viga como elemento deformable. En la Figura 8 se presentan las condiciones de frontera del modelo discreto, las cuales consisten en el empotramiento de un extremo de la viga y una carga en el extremo opuesto.



Figura 8.- Condiciones de frontera considerando elementos tipo "3D"

Se realizó un análisis de convergencia de malla para obtener un tamaño apropiado de elementos, el cual, resolviera satisfactoriamente la problemática teniendo como referencia los resultados obtenidos analíticamente y comparando los tiempos de cómputo.

Una consideración importante cuando se malla un elemento sólido es la cantidad de elementos en cada cara, principalmente en elementos tipo viga. En la Figura 9 se muestra la viga en modelo 3D con solo 2 nodos de espesor y cuando tiene 5 nodos.

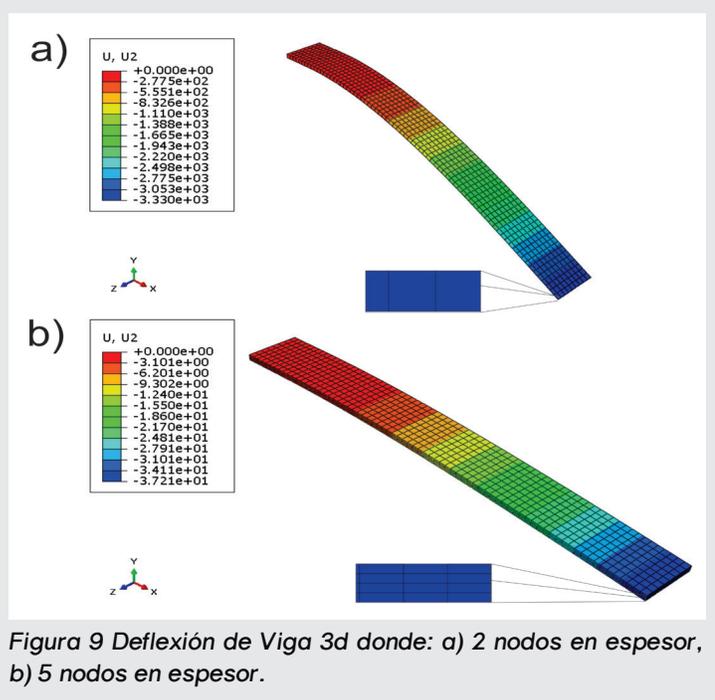


Figura 9 Deflexión de Viga 3d donde: a) 2 nodos en espesor, b) 5 nodos en espesor.

En la Figura 9 se muestra la deflexión de la viga, donde aún con las mismas condiciones de frontera y de carga para ambos casos, el valor máximo difiere, y esto se debe a la cantidad de nodos en el espesor de la viga. Utilizando 2 nodos en el espesor de la viga, la deformación máxima es de 3,330 mm, utilizando 5 nodos, la deformación máxima tiene valor de 37.21 mm, lo cual, presenta una diferencia porcentual de aproximadamente 5.08% con respecto a los resultados analíticos.

En la Figura 10 se muestra el tamaño del mallado en elementos sólidos, el cual se varía el espesor de los nodos teniendo 2 nodos de espesor, hasta los 6 nodos de espesor.

Tamaño de la malla				
4 mm	4 mm	4mm	4mm	4mm
2 espesor de nodo	3 espesor de nodo	4 espesor de nodo	5 espesor de nodo	6 espesor de nodo

Figura 10.- Tamaños de malla de elementos 3D

En la Tabla 6 se muestra el análisis de convergencia de malla, considerando únicamente el número de nodos en el espesor de la viga.

Derivado de lo anterior, todos los modelos que utilizan elementos sólidos contarán con 6 nodos en el espesor y las variaciones serán en la longitud de la viga.

Tabla 6.- Comparación de resultados para diferentes cantidades de nodos en el espesor

Tamaño de malla	Numero de nodos	Deformación [mm]	Esfuerzo máximo [MPa]	Tiempo de cómputo [s]
4 mm	2	3330	90.1	10
4 mm	3	39.24	100.7	10
4 mm	4	37.23	105.3	10
4 mm	5	37.21	109.7	11
4 mm	6	35.91	112.7	13

En la Tabla 7 se muestra la comparación de la deformación máxima, el esfuerzo máximo y el tiempo de cómputo para cada tamaño de malla analizado.

Tabla 7.- Comparación de resultados para diferentes tamaños de malla.

Tamaño de malla	Numero de nodos	Deformación [mm]	Esfuerzo máximo [MPa]	Tiempo de cómputo [s]
1 mm	132000	35.95	161.9	51
2 mm	33000	35.93	115.5	19
4 mm	8580	35.91	112.7	13
6 mm	3552	35.87	110.3	11

DISCUSIÓN

En la Tabla 8 se muestra la comparación de resultados obtenidos, para cada análisis realizado.

En los resultados de deformación máxima se observa una diferencia del 1.24% entre el análisis analítico y el realizado con elementos tipo "Shell"; mientras que, la diferencia porcentual entre el análisis analítico y el realizado con elementos sólidos, es del 1.55%.

En los resultados de esfuerzo máximo se observa una diferencia del 5.45% entre el análisis analítico y el realizado con elementos tipo "Shell"; mientras que la diferencia porcentual entre el análisis analítico y el realizado con elementos sólidos, es del 13.37%.

Tabla 8.- Comparación de los resultados obtenidos para los diferentes modelos analizados

	Analítico	Shell	3D
Deformación [mm]	35.4	34.9 6	35.93
Esfuerzo máximo [MPa]	133.33	140. 6	115.5
Tiempo de cómputo [s]	----	11	19
Tamaño de malla [mm]	----	2	2
Numero de nodos	----	5500	33000

CONCLUSIONES

El tiempo de cómputo se ve afectado cuando el tamaño de la malla aumenta.

Para un mismo tamaño de malla, el tiempo de cómputo puede variar 50%, siendo que, para un modelo sólido es mayor, con respecto a utilizar elementos tipo "Shell".

Para el modelado de vigas utilizando elementos sólidos 3D, es importante el número de nodos en el espesor de la geometría, siendo necesario tener como mínimo 3 elementos, ya que, esto influye directamente a los resultados, presentando diferencias porcentuales de 100%.

Para el modelado de vigas utilizando elementos tipo "Shell", no se presentó variación en los resultados de deformación máxima con respecto al tamaño de malla, sin embargo, los esfuerzos máximos si muestran diferencia.

Utilizar elementos tipo "Shell" toma relevancia, si el modelo aumenta su complejidad, debido a que se reduce el tiempo de cómputo considerablemente, teniendo buenos resultados con respecto a los analíticos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Cen, C. Li, S. Rajendran, and Z. Hu, "Advances in finite element method," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2014, no. March 2015, 2014, doi: 10.1155/2014/206369.

[2] L. L. Otero Pereiro, "Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos," *Rev. Ing. Mecánica*, vol. 9, no. Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos, p. 12, 2006, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225117945001>.

[3] D. Logan, *A first course in the finite element method*, vol. 3, no. 2. 2007.

[4] V. Jagota, A. P. S. Sethi, and K. Kumar, "Finite element method: An overview," *Walailak J. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 1-8, 2013, doi: 10.2004/wjst.v10i1.499.

[5] O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor, *The Finite Element Method Volume 1 : The Basis*, vol. 1. 2000.

[6] I. A. Magomedov and Z. S. Sebaeva, "Comparative study of finite element analysis software packages," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1515, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1515/3/032073.

[7] Geoffrey Modlen, "Introduction to Finite Element Analysis." pp. 1-93, 2010.

[8] P. Silori, A. Shaikh, K. C. Nithin Kumar, and T. Tandon, "Finite Element Analysis of Traction Gear Using ANSYS," *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 4-5, pp. 2236-2245, 2015, doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.243.

[9] A. Dutt, "Effect of Mesh Size on Finite Element Analysis of Beam," *Int. J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 12, pp. 8-10, 2015, doi: 10.14445/23488360/ij-me-v2i12p102.

[10] C. M. Wai, A. Rivai, and O. Bapokutty, "Modelling optimization involving different types of elements in finite element analysis," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 50, no. 1, 2013, doi: 10.1088/1757-899X/50/1/012036.

[11] A. J. Sadowski and J. M. Rotter, "Solid or shell finite elements to model thick cylindrical tubes and shells under global bending," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 74, no. October 2017, pp. 143-153, 2013, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2013.05.008.

[12] O. Bachau and J. Craig, "Structural analysis, with applications to aerospace structures," in *Structural analysis, with applications to aerospace structures*, vol. 79, no. 23, D. of C. Engineering, Ed. War-teloo, Ontario, Canada: Springer, 2001, p. 10.

[13] V. Popov, "Contact mechanics and friction: physical principles and applications," Springer, Ed. 2010, pp. 133-174.

[14] K. Budynas and G. Richard, "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley," *Igarss 2014*, no. 1, pp. 1-5, 2014, doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

[15] E. Quirino et al., "Numerical simulations of sandwich structures under lateral," vol. 15, no. 2, pp. 31-41, 2019, doi: 10.23743/acs-2019-11.

[16] J. Sotomayor, "Comportamiento en flexión estática de vigas de madera antigua de Picea abies," *Rev. Investig. la Univ. la Salle Bajío*, vol. 7, pp. 208-227, 2014.

[17] F. Figueroa, E. Ramirez, O. Ruiz, and A. Ortiz, "Modelado Y Análisis Del Proceso De Extrusión Inversa En Frío Mediante Paquetería De Elemento Finito," no. January 2016, 2010.



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Tecnología basada en videojuegos para enseñar y que los niños aprendan teoría musical



Colaboración

Baruc de los Santos Izquierdo; Flor Radilla López, Universidad Autónoma del Carmen; Eduardo Vazquez Santacruz, Universidad Autónoma Metropolitana; Abner de los Santos Izquierdo, Universidad Tito Punte

Fecha de recepción: 18 de marzo de 2022

Fecha de aceptación: 20 de mayo del 2022

RESUMEN: En el proceso de enseñanza-aprendizaje musical, la teoría musical es un pilar en la formación de los estudiantes de música porque a través de ella se simplifica la comprensión de la música y se comprende a nivel teórico lo que está sucediendo en cada momento musical. La teoría musical es necesaria para comprender lo que se toca, se lee y se oye. El uso de la ingeniería de software para el desarrollo tecnológico nos permitió construir herramientas educativas que han influido en el desarrollo de las capacidades de los estudiantes de música. Este documento propone el desarrollo de una herramienta basada en software a través de una tecnología de videojuegos para la enseñanza-aprendizaje de la teoría musical infantil.

PALABRAS CLAVE: enseñanza-aprendizaje, gamificación, ingeniería de software, teoría musical, videojuegos.

ABSTRACT: In the music teaching-learning process, musical theory is a pillar in the training of music students because through it the understanding of music is simplified and what is happening at each musical moment is understood at a theoretical level. Music theory is necessary to understand what is played, read and heard. The use of software engineering for technology development let us construct educational tools which has influenced in the development of the capacities of music students. This document proposes the development of a software-based tool through a video game technology for the children teaching-learning of music theory.

KEYWORDS: music theory, gamification, software engineering, teaching-learning, video games.

INTRODUCCIÓN

Durante 1950 y 1970, las computadoras se convirtieron en dispositivos accesibles para los usuarios. Además, los primeros programas CAI (Instrucción asistida por computadora) comenzaron a usarse con fines musicales en las universidades. El término CAI describe los sistemas digitales que están diseñados para ayudar en el proceso de aprendizaje, específicamente aquellos que pueden adaptarse a las necesidades de cada estudiante.

Desde mediados de los 70 hasta la fecha, el progreso en hardware, MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ha cambiado la forma de enseñar musical, así como el desarrollo en software musical ha sido impresionante [1].

Aprender temas musicales implica varios retos como aprender el nombre de las notas, reconocerlas en el pentagrama, tocar un instrumento o incluso una composición musical. Estos desafíos se vuelven más difíciles para aquellos estudiantes que muestran un proceso de aprendizaje más lento o requieren un refuerzo constante de los temas. Estos estudiantes a menudo requieren un esfuerzo adicional que termina frustrando el camino de aprendizaje esperado. Debido a esto, la industria del software educativo ha estado en constante crecimiento durante varios años desarrollando aplicaciones que apoyan y refuerzan el aprendizaje. El uso de software para la educación musical fomenta el aprendizaje autodidacta, sencillo y más interesante, poniendo en práctica los conocimientos y aprendizajes de los alumnos a través de retos interactivos. Al mismo tiempo, facilita la configuración de itinerarios didácticos adaptados a la competencia de los estudiantes. Es decir, permite personalizar los niveles de aprendizaje de los alumnos.

La tecnología basada en software para la educación musical es de gran importancia ya que ayuda al estudiante en la concentración, comprensión y memorización de la teoría musical. También refuerza la habilidad y el conocimiento musical independientemente del estilo de aprendizaje (auditivo, visual o cinestésico) que predomine en el alumno ya que los diferentes canales perceptivos se utilizan al máximo y están específicamente enfocados al desarrollo musical. Con base en la explicación anterior, se ha desarrollado un prototipo de software educativo que permite al usuario interactuar con elementos como las notas, el pentagrama, las escalas que existen dentro de una pieza y la composición musical a través de una tecnología de videojuegos [10].

MATERIAL Y MÉTODOS

Revisión del desarrollo de tecnología del software de música.

Entre 1950 y 1970 las computadoras estuvieron disponibles para los usuarios. Los primeros programas CAI comienzan a utilizarse con fines musicales en las universidades [1].

Período comprendido entre 1978 y 1984. En este período se produjeron computadoras de 8 bits y se desarrolló el primer programa CAI, el software incluía software para soporte rítmico, melódico y armónico, para composición y para detección de errores [1].

Período comprendido entre 1984 y 1994. En este momento, se desarrollaría el protocolo MIDI y la producción por computadora de 16 bits. Los programas

que se enumeran a continuación se crearon [1].

- Music Mouse, primer software basado en la improvisación.
- Band-in-a-Box proporciona acompañamientos automáticos para la improvisación.
- Practica Música, perfeccionamiento de las habilidades auditivas y del lenguaje musical.
- ENIGMA (Finale), Sibelius, Music Printer Plus y Nighttingle para escribir, interpretar, imprimir y publicar partituras.
- Performer, Musicshop y Vision brindan soporte para la producción musical.
- Logic, Pro Tools, Cubase y Sonar proporcionan entornos de secuenciación profesionales.

Período comprendido entre 1995 a la fecha. En este período, se han desarrollado contenidos multimedia y software que fomenta la simulación y la instrucción guiada [1].

- Hacer música y hacer más música para la composición musical.
- Music Ace y Music Ace 2 se enfocan en ayudar a comprender la teoría musical y mejorar las habilidades auditivas.

Hay siete categorías de CAI, cada una de las cuales es apropiada en diferentes circunstancias de instrucción y, por lo tanto, requiere un enfoque pedagógico diferente. Estos siete tipos de CAI son los siguientes [2]:

- Ejercicios y prácticas
- Tutoriales
- Simulaciones y juegos
- Pensamiento crítico y enriquecimiento
- Laboratorios informáticos (CBL)
- Programación
- Sistemas de aprendizaje integrados (ILS)

En este estudio, el enfoque de las herramientas basadas en software de música que se utilizan en la educación musical está relacionado con las simulaciones y los juegos. En la mayor parte de este software que tiene como objetivo enseñar música mediante juegos, existe un sistema de puntuación (para evaluación) como en los juegos de computadora interactivos. Music Ace, Adventure in Music Land, Ear Challenger, Pattern Block Rock, Classics for Kids, Game Roomby NY Philharmonic, Music Lab / Musical Skies / InstrumentGarden / Symphony Hall y Music Mountain de SFS Kids.com y Maestro: Virtual Orchestra Game puede ser considerados como ejemplos para este tipo de software interactivo. Además, existen otros juegos en Internet [1].

Herramientas basadas en videojuegos: un recurso educativo

La integración de herramientas tecnológicas en el ámbito educativo musical para su etapa de aprendizaje representa un soporte fundamental que permite a los

estudiantes aprender mejor y ser más receptivos al estudio convirtiéndose en participantes activos de sus propios conocimientos [3], [9].

En la enseñanza de la música tradicionalmente la transmisión de conocimientos es teórica y práctica. Los conocimientos prácticos pueden ser interiorizados por los estudiantes con el apoyo de instrumentos musicales que permitan interiorizar los conocimientos adquiridos, sin embargo, el conocimiento teórico, aun cuando sea imprescindible para el correcto desarrollo del conocimiento práctico, no tiene una forma de interiorizarse a sí mismo, más que la explicación del tutor académico. De ahí que la tecnología juegue un papel clave: la interacción entre la música y la tecnología representa elementos de apoyo en el proceso de enseñanza de la música para formar a los estudiantes con una mayor internalización de los conocimientos teóricos [3].

Actualmente vivimos en una sociedad de la información donde es común encontrar personas a diario utilizando algún tipo de dispositivo electrónico para comunicarse, informar o entretener, ya sea viendo videos o jugando videojuegos. Los dispositivos electrónicos (computadoras, consolas, tabletas, teléfonos móviles) son parte de la forma en que transformamos nuestro trabajo, las relaciones sociales, la generación de conocimiento, el aprendizaje y por ende la educación. La evolución de la tecnología en las últimas décadas ha influido en generaciones al integrar de forma natural dispositivos electrónicos y herramientas de software en sus vidas. Por tanto, los estudiantes de estas generaciones necesitan un modelo de enseñanza interactivo y dinámico para comprender y aplicar los conocimientos adquiridos durante su aprendizaje de forma práctica y útil. Sin embargo, no solo es necesario introducir nuevas tecnologías en las aulas, sino que también se deben implementar estrategias educativas como el aprendizaje significativo, colaborativo y activo que promuevan el aprendizaje basado en experiencias y la cooperación, una razón es que los estudiantes aprenden de ideas y experiencias de otros se vuelven aprendiendo más vivenciales aparte de esto se crea un proceso de comunicación efectivo y activo mediante el uso de nuevas tecnologías digitales, se produce entre usuarios. Este proceso es gracias a la ejecución de la interactividad, la capacidad de crear una situación de intercambio entre usuarios. Considerando los aspectos antes mencionados, los videojuegos son una tecnología que contribuye al aprendizaje de forma cooperativa, vivencial e interactiva [3], [4].

La tecnología basada en videojuegos es un software de computadora diseñado para el entretenimiento y la diversión que se puede utilizar a través de varios medios, como consolas de juegos, computadoras o teléfonos móviles [4]. La tecnología de los videojuegos ayuda a familiarizar a sus usuarios con los medios digitales en un entorno lúdico de experimentación sin consecuencias. La ventaja fundamental que ofrece la experimentación

con tecnología basada en videojuegos es que cuando se realiza en un entorno lúdico que entendemos, entonces no tendrá repercusiones en nuestra vida diaria, es una experimentación sin consecuencias [5]. El valor educativo de los videojuegos reside en el elemento motivador. Esto permite a los docentes aprovechar la atracción de los estudiantes por las aventuras digitales, para transmitir valores y contenidos curriculares de forma innovadora [12].

Ocho aspectos de los videojuegos que explican por qué este medio es tan atractivo y cautivador: a) divertido; b) inmersión en otra realidad y atemporalidad; c) fusión; d) exploración; e) dominio; f) estimulación, manejo de la frustración, aprendizaje; g) toma de decisiones y desafío de habilidades y, finalmente, h) autosuficiencia y retorno a la realidad [5].

Metodología de desarrollo de software para la construcción de una herramienta educativa

La metodología explicada en este trabajo se conforma como una combinación de las etapas de los métodos existentes (desarrollo en espiral, desarrollo evolutivo, desarrollo incremental, ágil) en ingeniería de software con algunas fases de metodologías para la generación de software multimedia educativo.

Las fases que conforman la metodología empleada en este trabajo son siete: concepto o preproducción, análisis, diseño, desarrollo, implementación, evaluación y validación del programa y producción [7]. A lo largo de este documento se describe cada etapa referida.

Concepto (preproducción). La motivación para la concepción y ejecución de este proyecto surgió de la necesidad de contar con un software con contenido interactivo y lúdico a través de una herramienta basada en videojuegos para el aprendizaje de teoría musical básica. A partir de esta situación buscamos motivar a los alumnos en su proceso de aprendizaje haciéndolo de forma divertida y así evitar el desinterés y la deserción en las artes musicales. La herramienta está dirigida a niños de 3 años en adelante. En este punto se entrevistó a dos profesores de música [7].

Análisis. En esta fase de análisis se describen los componentes:

- Ruta de aprendizaje musical, se propone un proceso de aprendizaje compuesto por etapas: digitación, comprensión de partitura, ejecución de piezas musicales y ritmo, armonía y melodía, más detalle se explica en el apartado V.

- Los requisitos funcionales, a través de historias de usuario, definieron las especificaciones funcionales que se implementarán en la herramienta, tales como: definición del (los) personaje (s) principal (es), menú del videojuego, niveles o inframundos, manejo de par-

tituras y vidas, configuraciones de sonidos, entre otras especificaciones [7].

Diseño. Las tareas realizadas en esta fase fueron:

- Creación de mapa de navegación
- Identificación y creación de casos de uso

En la Figura 1, se representa la organización y estructura del videojuego con la ayuda del mapa de navegación, en la Figura 2, se representan los casos de uso identificados durante esta etapa, estos fueron una base para definir las funcionalidades y el comportamiento del videojuego.

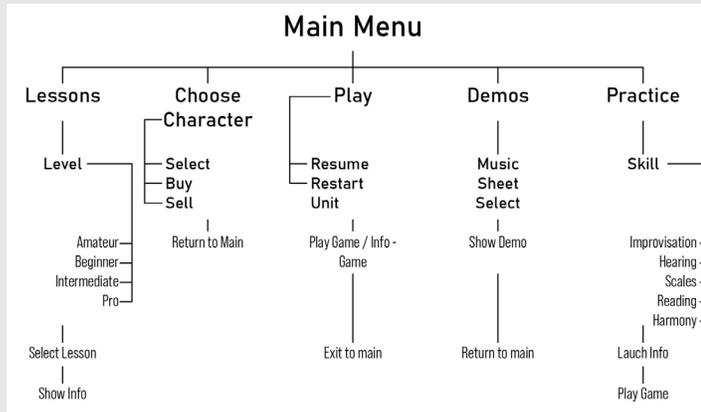


Figura 1. Mapa de navegación Runsic.

Fuente: elaboración propia.

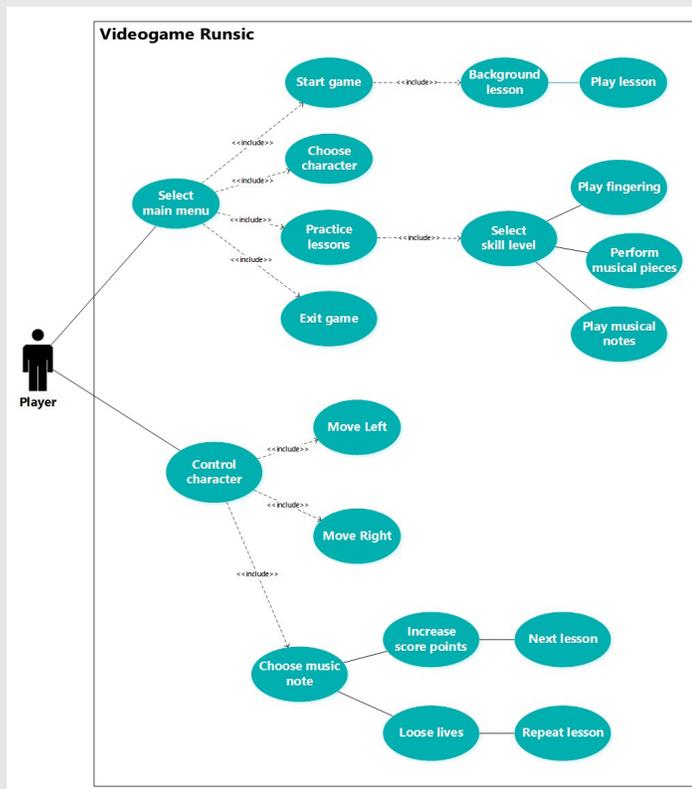


Figura 2. Diagrama de casos de uso Runsic.

Fuente: elaboración propia.

Desarrollo. Como se presenta en la Figura 3, las herramientas de software utilizado en la fase de desarrollo son:

- Para la creación y animación del personaje se utilizó Mixamo de Adobe
- Integración y desarrollo, se empleó Unity 2018.3.5f1
- Para el diseño de la interfaz, Adobe Illustrator estaba adoptando.
- También se usaron diferentes paquetes de activos, descargados de Unity Asset Store, para los elementos complementarios del escenario del juego.
- C# como lenguaje de programación.



Figura 3. Software de desarrollo.

Fuente: tomadas de los iconos de cada aplicación.

Implementación. La interfaz principal de inicio del juego se muestra en la Figura 4. Para el diseño de la interfaz, se consideró una paleta de colores en tonos fríos compuesta principalmente de azul, verde, amarillo y algunos destellos de rojo.

En la Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8, se exponen parte de los aspectos funcionales del videojuego. La mecánica del juego implica que el jugador debe mover al personaje hacia los lados, de acuerdo con el carril donde se encuentra la siguiente nota (Do, Re, Mi, Fa, Sol, A, Si), dentro de la pista (pentagrama) y permanecer dentro la nota de la pista según su duración, ya que representa el valor de tiempo que tendría la nota en un pentagrama real.

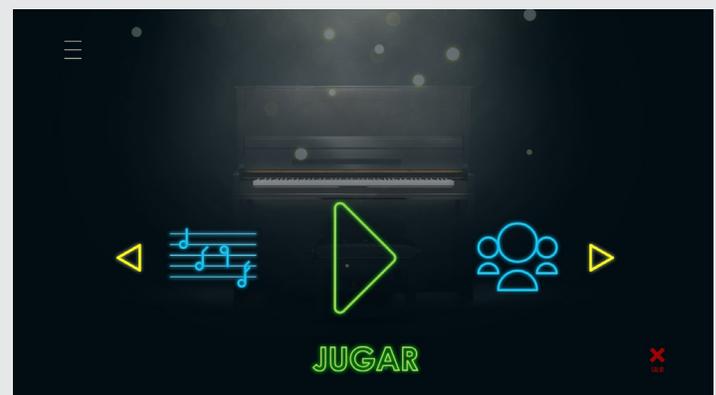


Figura 4. Menú de inicio del juego.

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Interfaz de la lección (Staff).

Fuente: elaboración propia.

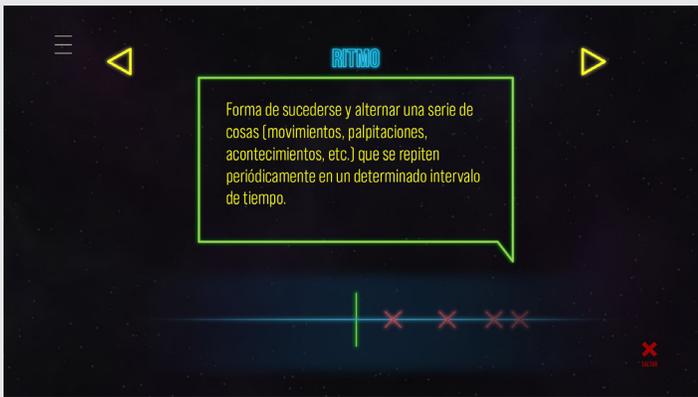


Figura 6. Interfaz de la lección (Rhythm).

Fuente: elaboración propia.



Figura 7. Pantalla de inicio del juego.

Fuente: elaboración propia.

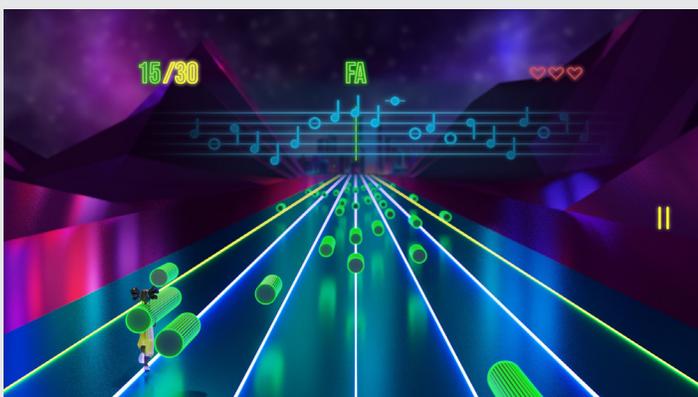


Figura 8. Pantalla de progreso del juego.

Fuente: elaboración propia.

En caso de saltarse una nota, el jugador perderá una "vida" de los cinco totales que tiene al comienzo del juego. El movimiento del personaje será mediante las flechas del teclado o, en su defecto, con las letras A-Izquierda, D-Derecha.

Evaluación y validación. En la actualidad, con funcionalidades implementadas las pruebas aplicadas al videojuego son pruebas unitarias y pruebas de integración. Se planea trabajar en nuevas mejoras para lanzar una versión inicial, durante el desarrollo de estas mejoras de software se está considerando implementar inspecciones (revisiones) mediante el uso de listas de verificación para verificar que se cumplan las especificaciones definidas, a lo largo del ciclo de desarrollo. Una vez lista la primera versión las actividades a realizar en esta etapa serán:

- Prueba piloto: El propósito de esta evaluación es identificar defectos en la primera versión del software, en base a los hallazgos, se aplicarán modificaciones y correcciones, para cumplir con las especificaciones de diseño y funcionalidad solicitadas por el usuario y cliente.
- Evaluación de conocimientos o aprendizajes adquiridos: en el apartado de resultados esperados se encuentra información adicional relacionada con esta actividad.

Considerando las tareas mencionadas anteriormente, se realizará un proceso de evaluación y validación a través de pruebas del sistema y pruebas de usuario.

Actualmente nuestra herramienta educativa basada en tecnología de videojuegos incluye mejoras como: interfaz de usuario, mecánicas de juego, introducción de nuevos personajes y la implementación de ruta de aprendizaje.

Producción. Se planea tener tres canales de distribución, primero es a través de licencias de software para ser instaladas en computadora personal, segundo es a través de Play Store y finalmente en academias de música locales. Hasta ahora, la versión probada se ha instalado en ordenadores personales. Ahora hay una versión en mejora continua que se ha actualizado con varias adaptaciones como las ya descritas, dentro de esta actualización la próxima versión estará disponible para su publicación en una Play Store (Google Play o Microsoft Store).

Se pretende que esta herramienta se pueda implementar en entornos educativos como jardines de infancia y escuelas de nivel preescolar con el objetivo de motivar a los bebés a aprender música utilizando herramientas muy amigables.

Camino De Aprendizaje Musical

Los sistemas educativos comparten un objetivo preciso: llevar la educación por igual a todos los estudiantes.

Este objetivo se consigue cuando los sistemas educativos proporcionan entornos y recursos de aprendizaje adaptados a las necesidades de cada alumno. Estas necesidades estarán en función del estilo de aprendizaje con mayor rezago, es decir, mientras un alumno necesita refuerzo visual (estilo de aprendizaje visual) para comprender un objetivo de aprendizaje, en otra consideración debe reforzarse a través de la práctica (estilo de aprendizaje, aprendizaje cinestésico) y otra consideración a tener en cuenta es que la herramienta educativa debe incluir refuerzo auditivo (estilo de aprendizaje auditivo) [6], [10].

Una forma de reducir la brecha entre los estilos de aprendizaje y a su vez reducir la brecha entre los diferentes estudiantes es a través del diseño y desarrollo de métodos y herramientas que estimulen el desarrollo integral de los estilos de aprendizaje. A su vez, el desarrollo de estilos de aprendizaje mejorará la calidad del aprendizaje de los estudiantes rezagados y esto, a su vez, disminuirá la brecha entre los estudiantes [6], [10].

Para apoyar esta tarea, se han diseñado rutas de aprendizaje que muestran cuáles son las capacidades y competencias que deben desarrollarse en los estudiantes, y cuáles son los indicadores de logro de aprendizaje por niveles de educación (inicial, primaria y secundaria) [6].

Como en cualquier otra disciplina, un correcto diseño del itinerario de aprendizaje, en temas musicales, garantizará que el alumno pueda comprender correctamente los conocimientos de esta disciplina. Para lograrlo, a través de la herramienta propuesta, el alumno desarrollará de manera integral y con refuerzo continuo, los tres estilos de aprendizaje que ya se han mencionado: visual, auditivo y cinestésico.

El método implementado en el desarrollo de la pieza de software tiene como objetivo: hacer accesible la educación musical a cualquier persona mayor de 3 años, para lograr este objetivo el programa de enseñanza cuenta con adaptaciones especiales para niños de entre 3 y 6 años [6], [10].

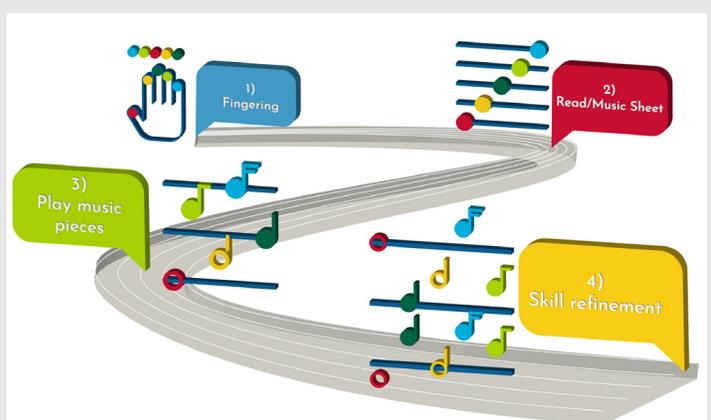


Figura 9. Camino de aprendizaje musical.

Fuente: elaboración propia.

El diseño de esta ruta de aprendizaje se ha centrado en la enseñanza del piano, incluidos elementos importantes de la teoría musical básica. En la Figura. 9 se muestran las fases que se describen a continuación.

Digitación. La primera tarea que debe aprender el alumno es la digitación. Consiste en que el alumno relacione un valor con el dedo que debe ejecutar para esta parte, solo se utilizan números, asignados a cada dedo de cada mano, donde el alumno puede relacionar cada valor numérico con el dedo correcto.

El objetivo en este punto es que el alumno comience a familiarizarse con la forma correcta de tocar, comenzando así a desarrollar buenas prácticas a la hora de ejecutar la pieza. El indicador de rendimiento esperado es que el alumno empareje un número (o color) con un dedo y adquiera la coordinación necesaria para su correcta ejecución.

En niños de 3 a 6 años se utilizan etiquetas de colores, ya que muchos de ellos apenas comienzan a identificar números o letras. Se asigna un color a cada nota ya cada dedo de las manos colocando el mismo color de dedo en cada mano [8].

Comprensión de partituras. Entonces el alumno debe ser capaz de reconocer los elementos fundamentales que componen una partitura, como las notas (melodía) y las figuras en función de su duración (tiempo / ritmo). El objetivo aquí es que el alumno comience a relacionar los valores numéricos (o colores) con posiciones y tiempos dentro de la partitura de la pieza a interpretar.

Aquí el indicador de logro esperado es que el alumno impulse los indicadores mencionados en la fase uno, a posiciones específicas en el personal, manteniendo una coordinación satisfactoria.

En niños de 3 a 6 años se refuerza el aprendizaje de las cinco notas que pueden tocar con los dedos y se les enseña a identificar los colores en posiciones específicas dentro del pentagrama [6], [10].

Tocar piezas musicales. Cuando el alumno ha dominado los elementos básicos que componen una partitura, comienza a practicar lecciones avanzadas en las que puede localizar tiempos y notas en la partitura y llevarlos al instrumento.

El objetivo de esto es mejorar la capacidad del alumno a través del fortalecimiento continuo de los elementos estudiados. Como indicador de rendimiento, se espera que el alumno realice ejecuciones precisas de piezas, tanto en melodía como en ritmo. Para los niños de 3 a 6 años, la posición se consolida con colores a través de ejercicios interactivos que permiten relacionar el color de la nota con su posición dentro del pentagrama. Al

mismo tiempo, se practican piezas que les dan agilidad en la práctica [6], [10].

Consolidar ritmo, armonía y melodía. Cuando el alumno ha comprendido y dominado los elementos de la teoría musical básica, se introducen conceptos como: cifrados, alteraciones, tonos, acordes, improvisación, entre otros. Estos conceptos están relacionados con la armonía y sirven como base para el desarrollo musical avanzado.

El propósito de esta parte del programa es consolidar los tres pilares de la música: ritmo, melodía y armonía; los dos primeros, desarrollados en los tres primeros puntos del método de aprendizaje implementado.

En este punto tendremos diferentes indicadores de logros esperados, que van desde ejecuciones limpias y puntuales hasta el desarrollo exitoso de técnicas de improvisación dentro de la pieza de software. Para los niños de 3 a 6 años se quitan los colores y comienza el método de aprendizaje para los mayores de 7 años.

Después de completar la ruta de aprendizaje, el fortalecimiento continúa, incluidos los ejercicios que mejoran las habilidades adquiridas. Permitiendo, además, evaluar el progreso del alumno.

Dentro de cada paso del método a seguir, se han especificado los objetivos específicos que corresponden a la ruta de aprendizaje. En general, también podemos definir algunas finalidades como:

- Acercar al alumno al conocimiento de los conceptos básicos de la teoría musical, haciéndolo capaz de identificar y relacionar elementos cotidianos con su experiencia musical.
- Reconocer cada elemento de una pieza musical, estudio completo e independiente detallado de conceptos como armonía, melodía y ritmo.

RESULTADOS PREVISTOS

La integración de herramientas tecnológicas en el ámbito educativo musical para su etapa de aprendizaje representa un soporte fundamental que permite a los estudiantes aprender mejor y ser más receptivos al estudio convirtiéndose en participantes activos de sus propios conocimientos [6], [10].

Este trabajo muestra nuestro enfoque en el desarrollo de herramientas de apoyo para el aprendizaje y la enseñanza de temas relacionados con la música. A partir de los primeros esfuerzos en cuanto al desarrollo de este tipo de herramientas [11], nuestro equipo está realizando mejoras y complementos a las primeras versiones de estos productos. Se pretende que estas herramientas logren realmente el objetivo de apoyar el aprendizaje-enseñanza de temas sobre música.

Hemos desarrollado estas herramientas con el objetivo de motivar a los jóvenes a acercarse a la música a través de estrategias basadas en software y pedagogía. La ruta de aprendizaje ayudará al usuario a familiarizarse con los conceptos musicales mientras juega, considerando que la aplicación móvil ha sido desarrollada para proporcionar al jugador un entorno amigable y fácil de usar. Actualmente estamos desarrollando un software basado en algoritmos de inteligencia artificial para evaluar el rendimiento del jugador al final de su viaje por el entorno de juego. La Figura 10 muestra el concepto del proceso de enseñanza programado, que es básicamente el planteamiento de nuestro bloque de evaluación automática que se basa en inteligencia artificial para evaluar el desempeño del usuario, la Figura 11 muestra la arquitectura del bloque referido.

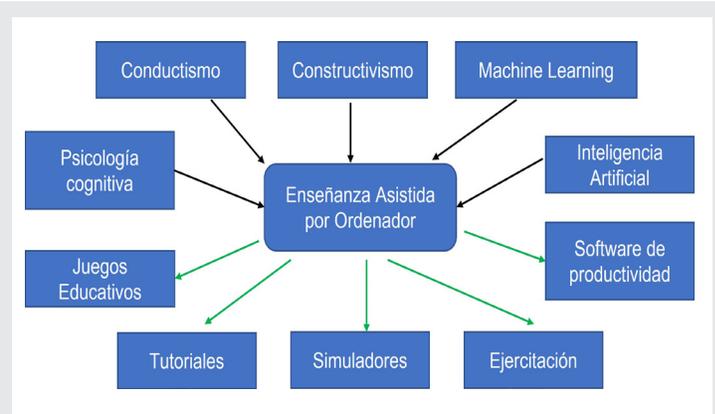


Figura 10. Definición y enfoque del proceso de Docencia Programada. Fuente: elaboración propia.

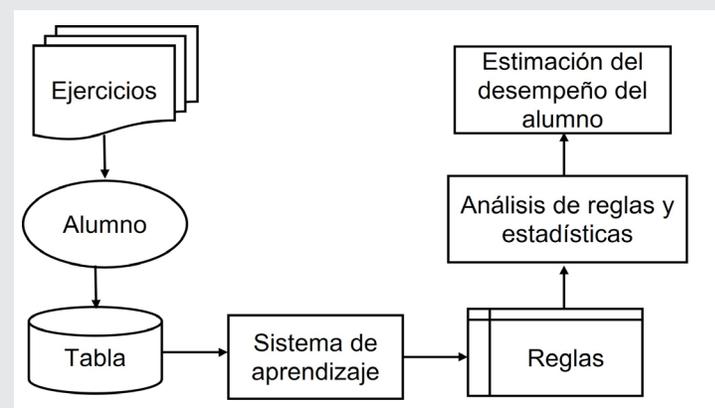


Figura 11. Arquitectura del módulo evaluador del desempeño del usuario. Fuente: elaboración propia.

Se pretende realizar los ajustes necesarios y finalmente presentar esta herramienta en un entorno de producción para que cualquier usuario pueda utilizarla a través de plataformas comerciales. Esperamos que nuestra herramienta realmente tenga un impacto social en general y principalmente en la juventud.

Con el apoyo de la inteligencia artificial, dotaremos a nuestras herramientas de funcionalidades que pueden

ser ejecutadas automáticamente de tal manera que el usuario perciba un acompañamiento personalizado y en tiempo real de tal manera que este contribuya para que el jugador tenga un mejor desempeño durante su experiencia en el entorno de aprendizaje lúdico del juego (Figura 11).

En futuras versiones habrá una herramienta ya mejorada con posibilidad de ser sometida a pruebas de usuario para su correspondiente actualización. Finalmente, se pretende lograr un producto final que pueda estar al alcance de cualquier persona y que se pueda implementar en los sectores sociales que les gusten para aspectos relacionados con la música.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración entre la Universidad Autónoma del Carmen y la Universidad Autónoma Metropolitana del departamento de informática y sistemas del grupo de investigación de ingenieros de software.

CONCLUSIONES

Existe una gran necesidad de brindar herramientas dedicadas a temas musicales al sector social correspondiente desde una perspectiva sustentada en instrumentos digitales y disponible para cualquier persona y en cualquier momento. En este sentido, estamos atendiendo estos requerimientos sociales para facilitar a la juventud, y a todo aquel interesado en la temática musical, un instrumento que contribuya a fortalecer el ciclo virtuoso de enseñanza-aprendizaje-aplicación de los conocimientos musicales. Ya hemos construido algunas herramientas que se basan en la tecnología de los videojuegos para facilitar la enseñanza y el aprendizaje de conceptos musicales. En el presente trabajo detallamos los avances que hemos tenido en cuanto a la mejora continua de estas referidas herramientas y el objetivo de estos ajustes y complementos es fortalecer y enfatizar la utilidad de las herramientas desarrolladas para lograr su principal objetivo ante la sociedad. Continuaremos nuestro trabajo generando mejoras y nuevas herramientas que nos permitan tener una sociedad más competitiva y capaz de cara a los retos actuales y futuros. En estas herramientas que hemos descrito hemos aplicado tecnología basada en videojuegos e inteligencia artificial, pero no descartamos el uso de alguna otra tecnología ya que dependiendo de la necesidad se utilizará o no algún tipo específico de tecnología.

En este trabajo hemos demostrado que la ruta de aprendizaje y el mecanismo de evaluación del desempeño del usuario de la referida aplicación son mejoras al instrumento que ya habíamos creado. Estas mejoras contribuirán sin duda a mejorar la capacidad de aprendizaje de la sociedad en torno a temas musicales ya que hemos fortalecido el apoyo del

usuario durante su experiencia en el uso de nuestras herramientas basadas en tecnología de videojuegos.

Muy pronto pondremos estas herramientas en una etapa de prueba para conocer la retroalimentación directamente del sector social, que se considerará para perfeccionar estos desarrollos tecnológicos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Palazón-Herrera, “Software musical y sus posibilidades didácticas: una panorámica para los estudiantes del Máster de Secundaria en la especialidad de Música”, in *La era de las TT.II. CC. en la nueva docencia, España:McGraw-Hill Interamericana*, 2014, pp.349-351.

[2] B. Poole, E. Sky-Mclvain “Computer-Assisted Instruction (CAI)”, in *Teaching in the computerized classroom, United States*, 2009, pp.159-174.

[3] C. Macias and C. Moreno, “Desarrollo de un prototipo de software para entrenamiento musical por medio de lecciones teóricas y prácticas de nivel básico enfocado a estudiantes de artes musicales”, *B.S Thesis, Universidad Ean, Bogotá, Colombia*, 2013.

[4] M. Garcia, “Videojuegos y educacion, Press Start para crear,” *B.S Thesis, Universidad de Sevilla, Sevilla, España*, 2016.

[5] M. Rubio “Retos y posibilidades de la introducción de videojuegos en el aula,” in *Revista de estudio de juventd, No. 98, Eds. Universidad de Salamanca: Academic*, 2012, pp. 118-134.

[6] “Rutas del Aprendizaje: Herramientas pedagógicas para docentes”, *minam.gob.pe*, 2012. [Online]. Available: <https://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Curso/curso-virtual/Modulos/modulo2/web-cambiamoslaeducacion/inicio.html#:~:text=Las%20Rutas%20del%20Aprendizaje%20son,inicial%2C%20primaria%20y%20secundaria> [Accesed June 4, 2021].

[7] E. García, O. Vite, M. Navarrete, M. García and V. Torres, “Metodología para el desarrollo de software multimedia educativo MEDESME”, *CPU-e. Rev. Investig. Educ no.23 Xalapa jul./dic. 2016*.

[8] “Las notas de colores, pequeño Mozart y google”, *pequenomozart.com*, 2018.[Online]. Available: <https://www.pequenomozart.com/las-notas-de-colores-pequeno-mozart-y-google/> [Accesed June 4, 2021].

[9] R. Valdivia, W. Calcina and B. Velazco. “Software musical en la enseñanza-aprendizaje de

los estudiantes de música de la Universidad Nacional del Altiplano Puno”, *Comuni@cción vol.12 no.1 Puno ene-mar 2021*.

[10] M.Espigares, R. Garcia, J. Tejada and M.Rebollo, “El discurso del profesorado de Educación Musical en la innovación educativa con TIC: posicionamientos en la evaluación del software Tactus”, *Revista Electrónica Compluten-se de Investigación en Educación Musical, Volumen 11, Universidad Internacional de la Rioja, 2014*.

[11] B. de los Santos, F. Radilla, E. Vázquez and E.Morales, “Una nueva herramienta basada en tecnología de videojuegos para enseñar teoría musical básica” in *Encuentro Nacional de Computación, Saltillo, Coahuila, Agosto 2020, pp.49-56*.

[12] S.Ramos, A.Botella and T. Jiménez, “El videojuego como recurso didáctico en el aula de música: Juegos educativos con E-Adventure y Muvizu”, *El artista, núm 14, pp.13-28, Diciembre 2017*.



Ingeniantes®