

Handbook T-V

CIERMMI Mujeres en la Ciencia Ingeniería

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo
BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica

Coordinadores

ECORFAN®

Coordinadores

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel. PhD
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo. BsC
BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica. BsC

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SERRUDO-GONZÁLEZ, Javier. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8695-35-5

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control HCS: 2020-05

Clasificación HCS (2020): 051120-0505

©ECORFAN-México, S.C.

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCS es parte de los medios de ECORFAN (www.ecorfan.org)

Handbooks

Definición de Handbooks

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología e Innovación en las Áreas de investigación CONACYT y PRODEP.

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Handbooks es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación CONACYT y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

GARCÍA - DE SOTERO, Dora Enith. PhD
Universidad de Sao Paulo

PEREA-LUGO, Adriana. PhD
Universidad Autónoma de Barcelona

SANDOVAL-SALAS Fabiola. PhD
Institut National Polytechnique de Toulouse

STILIANOVA - STOYTCHEVA, Margarita. PhD
Universidad de Tecnología Química y Metalurgia de Sofia

CARVAJAL - MILLAN, Elizabeth. PhD
École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier

HERNÁNDEZ - MARTINEZ, Rufina. PhD
University of California

SANDOVAL-SALAS Fabiola. PhD
Institut National Polytechnique de Toulouse

PINA – LUIS, Georgina Esther. PhD
Universidad de La Habana

LOPEZ - ZAMORA, Leticia. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

JIMÉNEZ - MOLEÓN, María Del Carmen. PhD
Universidad de Granada

Comité Arbitral

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

ARREDONDO – SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

ARROYO FIGUEROA, Gabriela. PhD
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

AVILÉS - COYOLI, Katia Lorena. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz . PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

CERCADO-QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

CORTES - MORALES, Griselda. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Cesión de Derechos

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

Detección de Plagio

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirán de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Handbooks con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos- Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación.

ECORFAN CIERMMI Mujeres en la Ciencia

Volumen V

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. en sus áreas de investigación en Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Educación, Potencia y Energía, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Aplicaciones Industriales y Comunicaciones, Gestión de la Tecnología en la Industria y en la Educación, Nuevas Tecnologías, Informática, Desarrollo de aplicaciones, Seguridad Informática, Tecnologías de la Información y Comunicación, Mantenimiento Industrial, Subestaciones Eléctricas, Motores Eléctricos, Termografía Infrarroja, Ahorro de Energía, Análisis de Vibraciones, Automatización, Cocinas Solares, Biomasa, Biocombustibles, Sistemas Fotovoltaicos, Celdas de Combustible, Energía Solar, Educación, Generación de Energía, Eléctrica, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica, Sistemas de Información, Energías Renovables, Aplicaciones Computacionales, Instrumentación aplicada a la industria, Telecomunicaciones y protocolos de seguridad. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. Se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Educación.

**Marroquín-De Jesús, Ángel • Olivarez-Ramirez, Juan Manuel • Cruz-Carpio, Luis
Eduardo • Bautista-Jiménez, Angélica**

Coordinadores

CIERMMI Mujeres en la Ciencia T-V Ingeniería

Handbooks

Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C.

Noviembre, 2020

DOI: 10.35429/H.2020.5.1.209

Prólogo

A medida que pasa el tiempo, la mujer se ha abierto camino en el área de la ingeniería, debido a su interés en esta área; ha tenido que romper paradigmas que no permitían visualizar al género femenino en actividades de campo específicamente inherentes con trabajo de fuerza, aun así se ha logrado y hemos obtenido resultados mayores a los esperados en cualquier pronósticos. Las infinitas oportunidades que brinda la Ingeniería y el querer poder participar en ello fueron el motor que impulsó a muchas mujeres a decantarse en esta área.

Otra de las razones que impulsaron a la mujer a tomar la decisión de dedicarse a la ingeniería fueron las raíces y el entorno familiar, ya que pretendemos cambiar nuestro entorno y abrir espacios para las nuevas generaciones de mujeres que quieren desarrollarse en esta ciencia. Ahora la historia está marcada por esas grandes mujeres ingenieras que con sus aportaciones han sido claves para entender y mejorar el mundo como es el caso de Ellen Henrietta Swallow Richards quien es considerada la madre de la ingeniería ambiental, entre otros casos.

El instituto de estadísticas de la UNESCO realizó un estudio y asegura que de los 7,8 millones de investigadores en el mundo tan solo el 28% son mujeres y en América Latina la cifra se incrementa en un 44% anualmente.

En México, de un total de 28,630 investigadores que conforman el Sistema Nacional de Investigación (SNI) las mujeres representan el 37%, es decir 10,683 científicas.

Gracias a estos datos podemos ver cuánto hemos crecido profesionalmente, pero no solo con eso podemos ver el resultado, en la vida diaria también podemos identificarlo en las posiciones que ocupamos, cada vez son más, antes era muy difícil encontrar a una mujer haciendo un trabajo de instalación, de cálculos, de proyección o de cualquier actividad vinculada al género masculino; normalmente nos contrataban para desarrollar acciones de no toma de decisiones, porque se cree que no contamos con las habilidades para ejecutar dichas tareas, por el contrario hemos sido capaces para desarrollar cualquier actividad que nos propongamos; y en la actualidad ya podemos verlas dedicarse en todas las ramas de la ingeniería ejerciendo un gran trabajo y demostrando esa empatía por su entorno, que caracteriza a nosotras las mujeres.

Aceptar la infinitud de desafíos ligados al desarrollo de esta profesión no es algo sencillo, pero afortunadamente hay muchas mujeres que trabajaron en ello para dejar una gran marca y que puedan aprovechar las futuras generaciones.

*AVILA-REQUENA, Elisa Alejandra
RAMÍREZ-ESPINOZA, Brenda Hayde*

Introducción

El Colegio de Ingenieros en Energías Renovables de Querétaro A.C. (CIER-QUERÉTARO), y sus capítulos de Energía Renovable, Mantenimiento industrial, Mecatrónica e Informática, patrocinadores técnicos del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento, Mecatrónica e Informática, CIERMMI 2019 tiene como objetivo general establecer un espacio de discusión y reflexión en temas relacionados con las áreas de: energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática con la participación de estudiantes, profesores, investigadores y conferencistas nacionales e internacionales, promoviendo la conformación y consolidación de redes de investigación. Contribuyendo a brindar un espacio de divulgación y debate de las ponencias de estudiantes, egresados, académicos e investigadores, representantes de las distintas instituciones de educación superior y centros de investigación de nuestro país. Promoviendo la conformación de redes de investigación entre diferentes instituciones. Ofreciendo un espacio para los estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado y de posdoctorado, en el cual puedan dar a conocer el avance de las investigaciones que llevan a cabo como tesis o trabajos de grado. Brindando un espacio en el cual los grupos de estudios e integrantes de cuerpos académicos, vinculados al programa curricular de las carreras de energías renovables, mantenimiento industrial, mecatrónica e informática, den a conocer los trabajos de investigación desarrollados al interior de su institución y en colaboración con otras instituciones educativas nacionales o internacionales. Estableciendo un espacio de capacitación para los (las) asistentes, mediante el desarrollo de ponencias y conferencias específicas.

Este volumen *Mujeres en la ciencia TV-2020* contiene 11 Capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de 32 estados de México. Agradecemos a los revisores por su retroalimentación que contribuyeron en gran medida en el mejoramiento de los artículos, para la publicación en estos procedimientos revisando los manuscritos que fueron sometidos.

Como primer capítulo, *Rodríguez, Rodríguez, Rodríguez y Reyes*, presentan un desarrollo de puntos cuánticos de CdS/dextrina como forma innovadora de entrega de fármacos: estudio de biodisposición, biocompatibilidad, hemocompatibilidad y eficacia, como segundo capítulo, *Lugo, Velarde y Arias*, hablarán sobre el diseño mecatrónico implementado en el desarrollo de prototipos virtuales y físicos.

Como tercer capítulo *Torres, Burgos, Barrales y Siero* presentan la preferencia en la percepción visual de las tonalidades cromáticas del modelo HSB hacia los Eventos de Instrucción (EI): motivar, informar y atender, como cuarto capítulo *De Anda, Betanzos, Sánchez y Aguirre*, proponen una Aplicación de modelos de simulación en el diseño mecatrónico agrícola para la Agroindustria 4.0. “Modelado del dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación”, como quinto capítulo *Estrada y Flores*, realizan un Control de movimiento de los divisores de salida de un separador tipo espiral usando IoT, como sexto capítulo *Trujillo, Cortés y Juárez*, desarrollaron una propuesta de Ingeniería de Software Basada en Búsqueda en Líneas de Productos de Software, como séptimo capítulo *Tecpoyotl, Rodríguez, Koshevaya y Vargas*, hablan de las análisis paramétrico de los elementos del actuador chevrón, como octavo número, *Uriarte, Bardoza, Martínez y Medina*, presentan la Infraestructura de telecomunicaciones para abilitar una red eléctrica inteligente en México; como noveno capítulo *Salazar, Carmona, Martínez y Sarmiento* presentan la importancia de la integración de técnicas administrativas a través de herramientas para mejorar el servicio al cliente en una microempresa como parte del trabajo colaborativo, como décimo número *Alonso y Santander* hablan sobre la realidad Aumentada para facilitar la comprensión de tópicos de bases de datos y como último capítulo, *Tello, Espinosa y Medina*, se enfocan en la Evaluación del efecto de la radiación solar sobre la superficie de un sistema fotovoltaico.

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo
BAUTISTA-JIMÉNEZ, Angélica

Coordinadores

Contenido	Página
1 Desarrollo de puntos cuánticos de CdS/dextrina como forma innovadora de entrega de fármacos: estudio de biodisposición, biocompatibilidad, hemocompatibilidad y eficacia RODRIGUEZ-FRAGOSO, Lourdes, RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Anahí, RODRIGUEZ-FRAGOSO, Patricia y REYES-ESPARZA, Jorge	1-21
2 Diseño mecatrónico implementado en el desarrollo de prototipos virtuales y físicos LUGO-GONZÁLEZ, Esther, VELARDE-GALVÁN, Alejandra y ARIAS-MONTIEL, Manuel	22-39
3 Preferencia en la percepción visual de las tonalidades cromáticas del modelo HSB hacia los Eventos de Instrucción (EI): motivar, informar y atender TORRES-DE LEÓN, Gloria Azucena, BURGOS-VARGAS, Marcela, BARRALES-GUADARRAMA, Víctor Rogelio y SIERO-GONZÁLEZ, Luis Ramón	40-60
4 Aplicación de modelos de simulación en el diseño mecatrónico agrícola para la Agroindustria 4.0. “Modelado del dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación” DE ANDA-LÓPEZ, Rosa María, BETANZOS-CASTILLO, Francisco, SÁNCHEZ-SALINAS, Agripín, AGUIRRE-ARANDA, Rodolfo	61-77
5 Control de movimiento de los divisores de salida de un separador tipo espiral usando IoT ESTRADA-RUIZ, Rosa Hilda y FLORES-CAMPOS, Rubén	78-91
6 Ingeniería de Software Basada en Búsqueda en Líneas de Productos de Software TRUJILLO-TZANAHUA, Guadalupe Isaura, CORTÉS-VERDÍN, Karen y JUÁREZ-MARTÍNEZ, Ulises	92-116
7 Análisis paramétrico de los elementos del actuador chevrón TECPOYOTL-TORRES, Margarita, RODRIGUEZ-FUENTES, Sahiril Fernanda, KOSHEVAYA, Svetlana y VARGAS-CHABLE, Pedro	117-140
8 Infraestructura de telecomunicaciones para habilitar la Red Eléctrica Inteligente en México URIARTE-RAMÍREZ, Irma, BARBOZA-TELLO, Norma Alicia, MARTÍNEZ-PLATA, Daniela Mercedes y MEDINA-CASTRO, Paúl	141-156
9 Importancia de la integración y transversalidad de técnicas administrativas a través de herramientas de ingeniería para mejorar el servicio al cliente en una microempresa como parte de trabajo colaborativo SALAZAR-VIOLANTE, María Abigail , CARMONA-HUERTA, Rosalía Maribel, MARTÍNEZ-LEE, Maribel y SARMIENTO-REYES, Celso Ramón	157-178
10 Realidad Aumentada para facilitar la comprensión de tópicos de bases de datos ALONSO-CALPEÑO, Mariela Juana y SANTANDER-CASTILLO, Julieta	179-195
11 Evaluación del efecto de la radiación solar sobre la superficie de un sistema fotovoltaico TELLO-ARGÜELLES, Celeste Estefanía, ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús y MEDINA-CARRIL, Diego Manuel	196-209

Capítulo 1 Desarrollo de puntos cuánticos de CdS/dextrina como forma innovadora de entrega de fármacos: estudio de biodisposición, biocompatibilidad, hemocompatibilidad y eficacia

Chapter 1 Development of CdS/dextrin quantum dots as an innovative form of drug delivery: study of bioavailability, biocompatibility, hemocompatibility, and efficacy

RODRIGUEZ-FRAGOSO, Lourdes*†, RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Anahí, RODRIGUEZ-FRAGOSO, Patricia y REYES-ESPARZA, Jorge

*Facultad de Farmacia, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Morelos, México
Departamento de Física, CINVESTAV - I.P.N. Apartado Postal 14-740, 07000. Ciudad de México, México*

ID 1^{er} Autor: *Lourdes, Rodriguez-Fragoso* / **ORC ID:** 0000-0002-3966-8521 y **CVU CONACYT ID:** CVU 11763

ID 1^{er} Coautor: *Anahí, Rodríguez-López* / **ORC ID:** 0000-0002-5464-9361y **CVU CONACYT ID:** 581876

ID 2^{do} Coautor: *Patricia, Rodriguez-Fragoso* / **ORC ID:** 0000-0002-5854-0953 y **CVU CONACYT ID:** 62943

ID 3^{er} Coautor: *Jorge, Reyes-Esparza* / **ORC ID:** 0000-0001-7978-540X y **CVU CONACYT ID:** 11762

DOI: 10.35429/H.2020.5.1.21

L. Rodriguez, A. Rodríguez, P. Rodriguez y J. Esparza

mrodriguezf@uaem.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Los nanomateriales están teniendo un gran impacto en todas las áreas del conocimiento. En biomedicina se están utilizando para solucionar importantes problemas de salud. Las nanopartículas semiconductoras (puntos cuánticos), en particular, pueden unirse a la membrana celular y ser absorbidas por la célula, de ahí su utilidad en biología como marcadores celulares y biosensores. Sin embargo, debido a su amplio espectro de emisión de fluorescencia, estas nanopartículas tienen importantes aplicaciones en medicina, pueden ser utilizadas en imagenología para diagnóstico y tratamiento médico, para la liberación inteligente de fármacos o material genético dentro de las células, por mencionar algunos. No obstante, el principal problema de estos nanomateriales es su toxicidad, ya que el núcleo de los puntos cuánticos está formado por materiales tóxicos, como el cadmio, un elemento nocivo para las células y los organismos. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la disposición, biocompatibilidad, hemocompatibilidad de puntos cuánticos de CdS pasivados con dextrina, así como realizar la biosíntesis de un bioconjugado CdS-dextrina/doxorubicina para mostrar su uso como nanotransportador de fármacos. Estudios *in vitro*, *in vivo*, así como espectrofotométrica, microscopía de epifluorescencia, microscopía confocal, microscopía de fuerza atómica, difracción de rayos X y espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier se utilizaron también para realizar el estudio. El presente capítulo muestra evidencia de que los puntos cuánticos de CdS-dextrina tienen un perfil de distribución tisular diferente, un tiempo medio de residencia diferente en cada órgano estudiado y pueden cruzar barreras biológicas (hematoencefálicas y testiculares). Además, los estudios de biocompatibilidad a los 30, 60 y 90 días mostraron que son biocompatibles ya que no produjeron alteraciones funcionales y tisulares en los diferentes órganos, excepto en los testículos, donde ocurrió atrofia testicular, luego de 90 días de exposición. El estudio de hemocompatibilidad mostró que no producen hemólisis, pero sí inducen alteraciones morfológicas de los eritrocitos. Finalmente, se realizó la síntesis de un bioconjugado de nanopartículas/doxorubicina y se estudió la eficacia farmacológica. El bioconjugado se caracterizó con las mismas técnicas antes descritas. En las células tratadas con doxorubicina conjugada a nanopartículas de CdS-Dex, se observó mayor citotoxicidad, un aumento en el tamaño de las células y núcleos comparado con las células tratadas solo con doxorubicina. Por tanto, los puntos cuánticos CdS-Dex que estudiamos en este trabajo tienen el potencial de ser utilizados en biomedicina para bioimagen y como nanovehículos para transporte de fármacos, teniendo la ventaja de que pueden distribuirse a cualquier tejido, atravesar barreras fisiológicas, ser bien tolerados y biocompatible, a corto y medio plazo. Además, permite que el fármaco llegue a su sitio objetivo para ejercer el efecto farmacológico.

Puntos cuánticos, disposición, biocompatibilidad, hemocompatibilidad y nanotransportador

Abstract

Nanomaterials are having a major impact in all areas of knowledge. In biomedicine they are being used to solve important health problems. Semiconductor nanoparticles (quantum dots), in particular, can bind to the cell membrane and be taken up by the cell, hence their usefulness in biology as cell markers and biosensors. However, due to their broad spectrum of fluorescence emission, these nanoparticles have important applications in medicine, they can be used in imaging for medical diagnosis and treatment, for the intelligent release of drugs or genetic material inside cells, for mention some. However, the main problem with these nanomaterials is their toxicity, since the nucleus of the quantum dots is made of toxic materials, such as cadmium, a harmful element for cells and organisms. The objective of the present work was to study the disposition, biocompatibility, hemocompatibility of dextrin-passivated CdS quantum dots, as well as to perform the biosynthesis of a CdS-dextrin/doxorubicin bioconjugate to show its use as a nanocarrier for drugs. *In vitro* and *in vivo* studies, as well spectrophotometric, epifluorescence microscopy, confocal microscopy, atomic force microscopy, X-ray diffraction and infrared spectroscopy by Fourier transform were also used to carry out the study. Present chapter shows evidence that CdS-dextrin quantum dots have a different tissue distribution profile, a different mean residence time in each organ studied and can cross biological barriers (blood-brain and testicular). Furthermore, the biocompatibility studies at 30, 60 and 90 days showed that they are biocompatible since they did not produce functional and tissue alterations in the different organs, except in testicles, where testicular atrophy occurred, after 90 days of exposure. The hemocompatibility study showed that they do not produce hemolysis, but they do induce morphological alterations of the erythrocytes. Finally, the synthesis of a nanoparticle / doxorubicin bioconjugate was carried out, and the pharmacological efficacy was studied. The bioconjugate was characterized with different techniques.

In cells treated with doxorubicin conjugated to CdS-Dex nanoparticles, greater cytotoxicity, an increase in the size of cells and nuclei was observed than in those cells treated only with doxorubicin. Therefore, the CdS-Dex quantum dots that we study in this work have the potential to be used in biomedicine for bioimaging and as nanovehicles for drug transport, having the advantage that they can be distributed to any tissue, cross physiological barriers, be well tolerated, and biocompatible, in the short and medium term. In addition, it allows the drug to reach its target site to exert the pharmacological effect.

Quantum dots, disposición, biocompatibilidad, hemocompatibilidad y nanotransportador

1. Introducción

En la actualidad la nanotecnología está influyendo directamente en un sinnúmero de campos y está permitiendo dar grandes avances para la sociedad. En el área biomédica, en particular, los nanomateriales tienen el potencial para ser usados como herramienta para el diagnóstico temprano y como una forma innovadora de entrega de fármacos (Mitragotri et al., 2015). Las técnicas de imagen son un ejemplo de ello, pues están impactando en la comprensión de los procesos celulares fundamentales, facilitando su visualización. El uso de nanomateriales está permitiendo: (1) entender los mecanismos que llevan a la enfermedad, (2) reconocer y diagnosticar enfermedades tempranamente, (3) ayudar a entender cómo funcionan las terapias y (4) monitorear la efectividad de los nanomateriales (Quesada-González, Merkoçi, 2018). Uno de los principales desafíos en este proceso es desarrollar "nanoterapias", especialmente dirigidas a tejidos y órganos enfermos, y que se logre evitar el daño a células sanas circundantes; es decir, que reduzcan los temidos efectos secundarios.

Sin embargo, para utilizar un nanomaterial con fines teranóstico (diagnóstico y tratamiento), es necesario conocer su biodisposición, biocompatibilidad y seguridad para comprender qué le sucede al nanomaterial después de ser administrado a un organismo, y sobretodo saber que efectos puede producir a corto y largo plazo. La predicción de la disposición de un nanomaterial es muy importante en el proceso de desarrollo de nuevos nanomateriales en biomedicina (Mir et al., 2017). La disposición de un nanomaterial dependerá de sus propiedades fisicoquímicas, el sitio de administración, la formulación y la dosificación, entre otros (Jurj et al., 2017).

Para que un nanomaterial sea utilizado en medicina, debe ser esencial conocer el tiempo que permanecerá en el organismo para estimar el período de tiempo que podría tener para identificar su blanco terapéutico (bacterias, células, antígenos, etc.), pero sobretodo, es fundamental para conocer la seguridad, es decir, demostrar que es inocuo y que no produce efectos secundarios importantes en el ser humano. Varios estudios han demostrado que los nanomateriales se entregan a varios órganos e incluso que cruzan barreras biológicas (Ali, Ansari, Ahmad, Akhtar & Jahan, 2017), además se sabe que tienen selectividad para tejidos específicos y permanecen dentro de ellos durante un largo período de tiempo. Estas propiedades podrían ser ideales si queremos usarlos como nanovehículos para transportar medicamentos, anticuerpos o vacunas, en la clínica. Existen pocos estudios en los que se haya realizado un análisis de la distribución de nanopartículas, así como la monitorización temporal para saber cuánto tiempo permanecen dentro de los tejidos y cuándo se eliminan por completo después de administrar una dosis única (Ding & Li, 2017).

Las nanopartículas semiconductoras o también llamados puntos cuánticos (PCs) han despertado gran interés en los últimos años, debido a sus potenciales aplicaciones en biología y medicina (Fang, Chen, Liu, & Li, 2017). En el arsenal de nanopartículas, los PCs son nanopartículas muy luminiscentes y están emergiendo como una nueva clase de marcaje fluorescente que han encontrado numerosas aplicaciones en bioimagen, biodiagnóstico y administración de fármacos. En los últimos años, este grupo de trabajo ha sintetizado y ha llevado a cabo estudios *in vitro* e *in vivo* de PCs de CdS recubiertas con maltodextrina y dextrina; a través de esos estudios se ha demostrado que ellos son biocompatibles y bien tolerados en animales de experimentación, tras su exposición por periodos de tiempo corto. Nuestros resultados *in vitro* e *in vivo* han mostrado que estos PCs tienen una efectiva captación celular y tisular, además tiene una distribución uniforme en tejidos animales, y no se ha observado que produzcan alteraciones morfológicas en los mismos (Rodríguez-Fragoso, Reyes-Esparza, León-Buitimea & Rodríguez-Fragoso, 2012; Gutiérrez-Sancha, Reyes-Esparza, Rodríguez-Fragoso, García-Vázquez & Rodríguez-Fragoso, 2015; Reyes-Esparza, J. et al., 2015).

Además, estos PCs han mostrado tener potenciales aplicaciones en medicina para bioimagen y entrega de fármacos, debido a su tamaño y emisión de fluorescencia.

Por lo tanto, en el presente capítulo mostramos resultados sobre: (1) La caracterización de la disposición de los PCs de CdS-Dextrina (CdS-Dex) tras la administración de una dosis única en ratas. Nuestro interés fue analizar una serie de parámetros farmacocinéticos, como la concentración máxima ($C_{m\acute{a}x}$), tiempo al que se alcanza la $C_{m\acute{a}x}$ ($T_{m\acute{a}x}$), área bajo la curva de 0 a tiempo (ABC_{0-t}), área bajo la curva de 0 a infinito ($ABC_{0-\infty}$), vida media ($T_{1/2}$) y tiempo medio de residencia (TMR) de los PCs, así como el análisis de los parámetros químico-clínicos para saber si éstos sufren alteraciones mientras los PCs permanecen en el organismo. La investigación de dosis única se extendió a un período de 90 días, con el fin de saber cuándo se eliminan por completo los PCs; (2) Un estudio de biocompatibilidad de PCs de CdS-Dex después de administrar dosis múltiples, el estudio se extendió a 30, 60 y 90 días de exposición; (3) La evaluación de la hemocompatibilidad *in vitro*; y (4) El desarrollo, caracterización y eficacia de un bioconjugado de PCs de CdS-Dex con doxorubicina (Dox).

1.1 Disposición de PCs CdS-Dex.

Todos los estudios preclínicos sobre nanomateriales deberían incluir un estudio farmacocinético que permita predecir y entender la disposición de un nanomaterial; es decir, saber que pasa con el nanomaterial una vez que entre al organismo, a donde se va, si cruza barreras, cuando se elimina por completo, y sobretodo qué tan seguro es su uso en general. El destino y la disposición de cualquier nanomaterial se basa en sus propiedades fisicoquímicas, lugar de administración, formulación y dosificación (Yoshikawa, Nabeshi, & Yoshioka, 2008). Por esta razón, es necesario caracterizar el perfil farmacocinético de cada nanomaterial sintetizado. Un parámetro importante para considerar en estudios farmacocinéticos es el tiempo medio de residencia, es decir, el tiempo estimado que un medicamento permanece en el cuerpo dentro de tejidos específicos. El tiempo medio de residencia (MRT) puede ayudar a evaluar el alcance de su eficacia y tolerabilidad (Ďurišová et al., 2014). El tiempo de residencia específica cuánto tiempo permanece en el organismo y el periodo de tiempo estimado durante el cual podría identificar un microorganismo patógeno, células tumorales o marcadores moleculares para fines de diagnóstico, así como para la entrega de medicamentos o genes con fines terapéuticos. Varios estudios han demostrado que los nanomateriales pueden llegar a varios órganos y que estos incluso cruzan barreras biológicas (Kettiger, Schipanski, Wick, & Huwyler, 2013). Además, los nanomateriales tienen selectividad para tejidos específicos y permanecen dentro de ellos por largos períodos de tiempo, lo cual es ideal si se usan para transportar fármacos, anticuerpos o vacunas. Existen pocos estudios sobre la disposición de nanopartículas que indiquen, incluso el tiempo que permanecieron dentro de los tejidos antes de ser eliminados completamente después de una administración de una dosis única (Hara, 2012). Para evaluar la disposición de los PCs de CdS-Dex se utilizaron ratas Wistar macho (110-130 g). Todas las ratas se mantuvieron en un ambiente controlado, y se les permitió comer y beber agua *ad libitum*. Las ratas estuvieron en ayunas durante 12 h antes del tratamiento. La investigación fue dirigida de acuerdo con las leyes públicas de la Ley de Prácticas en Animales y Bienestar Social del Estado de Morelos (México) y las guías internacionales de manejo de animales (Albus, 2012; Ley Estatal de Fauna, 2001). Las ratas se dividieron aleatoriamente en dos grupos: (1) grupo control (5 ratas), los animales se trataron con una dosis única i.p. de PBS (200 μ L); (2) PCs de CdS-Dex (65 animales), los animales se trataron con una dosis única i.p. de 100 μ g/Kg de PCs preparadas en 200 μ L de PBS. Los PCs de CdS-Dex se sintetizaron como se describió previamente (Reyes-Esparza et al., 2015), una característica de estas nanopartículas es que emiten fluorescencia en color verde y tienen un tamaño de 3 nm. Durante el estudio, los roedores se controlaron de cerca para garantizar que no presentaran efectos secundarios a las nanopartículas. Las evaluaciones de tolerabilidad consistieron en observaciones clínicas diarias, cuantificación del peso corporal y del consumo de alimentos. Se realizó una rigurosa evaluación clínica para detectar alteraciones en: aparato motor (ataxia, temblor, arqueamiento, balanceo, extensión tónica o convulsiones clónicas), sistema nervioso central (anestesia, sedación, depresión o hipnosis) y cambios en el aspecto físico (lagrimeo, exoftalmos, pilo-erección, salivación o diarrea).

Los animales se sacrificaron a 3, 6, 12, 18, 24, 48, 72, 150, 300, 600, 960, 1440 y 2160 horas (90 días). Se realizó un examen macroscópico post mortem del animal para visualizar alteraciones morfológicas. Se consideraron los siguientes órganos: hígado, riñón, pulmón, corazón, músculo estriado, bazo, timo, cerebro y testículo. Los tejidos se procesaron para obtener microfotografías bajo microscopio visible y de epifluorescencia. Para el estudio de disposición y el análisis farmacocinético de los PCs, realizamos un análisis semicuantitativo de fluorescencia.

La cantidad de PCs se estimó midiendo la intensidad de fluorescencia por espectrofotometría en homogeneizados tisulares, la intensidad de fluorescencia se expresó como unidades arbitrarias (UA). La fluorescencia se cuantificó por espectrofotometría (Perkin Elmer) usando la longitud de onda de excitación de 485 nm. Las curvas de concentración de tejido individual versus tiempo real se construyeron para un análisis farmacocinético no compartamental. Los parámetros farmacocinéticos obtenidos incluyeron: $C_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{a}x}$, ABC_{0-t} , $ABC_{0-\infty}$, $T_{1/2}$ y TMR.

Para el análisis de los parámetros bioquímico-clínicos se utilizó un método colorimétrico. El estudio incluyó la cuantificación de los niveles de glucosa, triglicéridos, colesterol, aspartato amino transferasa (AST), alanina amino transferasa (ALT), fosfatasa alcalina (FA), urea, creatinina y niveles de ácido úrico; las mediciones se hicieron utilizando kits comerciales (ELITech, México) siguiendo los protocolos del fabricante.

En la Figura 1.1 observamos la disposición de los PCs, visto como curva concentración-tiempo medido como intensidad de fluorescencia en hígado, riñón, corazón, pulmón, bazo, músculo, cerebro y testículo, posterior a la administración de una dosis única. El $T_{m\acute{a}x}$, el tiempo para alcanzar la concentración tisular máxima de los PCs ($C_{m\acute{a}x}$) observada para la mayoría de los tejidos estuvo entre las 24 y 48 horas, aunque en el músculo se encontró a 150 horas. Como podemos ver, el perfil de la curva fue diferente para cada tejido, así como los parámetros farmacocinéticos estudiados (Tabla 1.1).

El tejido donde se detectó fluorescencia con mayor intensidad fue el hígado (65,739 UA). En este tejido, alcanzaron el $T_{m\acute{a}x}$, a las 72 horas (Tabla 1 y la Figura 1). Los niveles de nanopartículas permanecieron elevados en el hígado durante 40 días, y fueron disminuyendo gradualmente; sin embargo, a los 90 días, se detectaron aún niveles significativos de fluorescencia. Fue interesante encontrar que el MRT calculado para el hígado fue de 69 días con un $T_{1/2} = 48$ días (tiempo medio de eliminación). La intensidad de fluorescencia en pulmón, riñón, corazón, bazo, y músculo fue baja comparado con el hígado, particularmente en este último tejido (7339, 6018, 3679, 4386, 2515 y 573 UA, respectivamente, Tabla 1). El TMR encontrado fue diferente en cada tejido, para riñón 9.3 días, corazón 16 días, pulmón 14.8 días, bazo 10.4 días y músculo 59 días. El $T_{1/2}$ fue menos de 12 días en riñón, corazón, pulmón y bazo (ver Figura 1,1 y Tabla 1.1); el músculo tuvo una $T_{1/2}$ alargada (41.3 días). Un hallazgo interesante fue descubrir la presencia de nanopartículas en el cerebro y los testículos. En el cerebro, la intensidad de la fluorescencia fue baja (6561), un MRT = 8.5 días y una $T_{1/2} = 5.9$ días. Sin embargo, la intensidad de la fluorescencia fue muy alta en testículos (16,810 UA), con un MRT = 83.3 días y una $T_{1/2} = 58$ días.

Figura 1.1 Curvas concentración-tiempo de los PCs CdS-Dex en tejidos de rata posterior a una administración única.

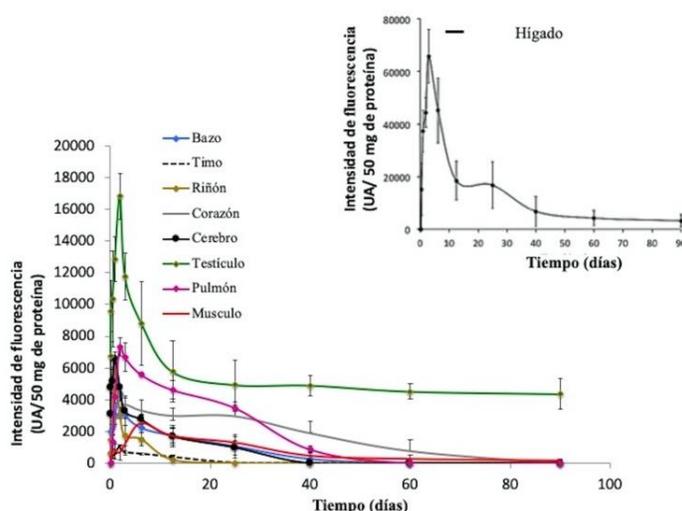


Tabla 1.1 Parámetros farmacocinéticos de QDs CdS-Dex.

Tejido	C _{máx} (AU)	T _{máx} (h)	ABC _{0-t} (AU *h)	ABC _{0-∞} (AU*h)	TMR (d)	T _{1/2} (d)
Hígado	65,739	72	26,484,058	54,455,011	69	48
Riñón	6,018	24	519,582	565,186	9.3	6.41
Corazón	3,679	72	3,637,750	3,938,695	16.0	11.1
Pulmón	7,339	48	3,794,373	4,105,768	14.8	10.31
Bazo	4,386	48	1,147,335	1,578,883	10.4	7.04
Cerebro	6,561	24	1,487,975	1,687,604	8.5	5.9
Testículos	16,810	48	11,677,942	12,551,992	83.3	58
Músculo	2,515	150	1,582,380	1,610,047	59	41.3

En la Figura 1.2 se muestra un corte histológico representativo de los tejidos analizados con microscopio de luz y epifluorescencia, en muestras teñidas y no teñidas, respectivamente; se tomaron microfotografías en el momento en que se observó la máxima fluorescencia (T_{máx}). La identificación de las nanopartículas de CdS-Dex se logró porque éstas emiten fluorescencia en color verde. La intensidad de la fluorescencia fue diferente en cada tejido. El análisis histopatológico no reveló alteraciones morfológicas en ningún tejido que pudiese indicar daño por la presencia de nanopartículas.

El análisis bioquímico-clínico mostró que las nanopartículas de CdS-Dx indujeron cambios en casi todos los parámetros analizados. La Figura 1.3 muestra las variaciones observadas a lo largo de los 90 días del estudio, podemos observar que la glucosa, los triglicéridos y la fosfatasa alcalina (FA) tuvieron variaciones importantes. Se observaron cambios desde las primeras horas hasta los 45 días. Sin embargo, después de este tiempo, la glucosa y FA alcanzaron los valores normales al final del estudio. Mientras que, los niveles de triglicéridos se mantuvieron altos hasta el final del estudio. Se observaron ligeros cambios en los niveles de AST, ALT y urea. Sin embargo, no se observaron cambios en los niveles de colesterol, ácido úrico y creatinina.

Figura 1.2 Microfotografías de tejidos al tiempo de máxima concentración de fluorescencia. Los PCs CdS-Dex emiten fluorescencia en color verde. Los tejidos fueron teñidos con H&E, amplificación 20X.

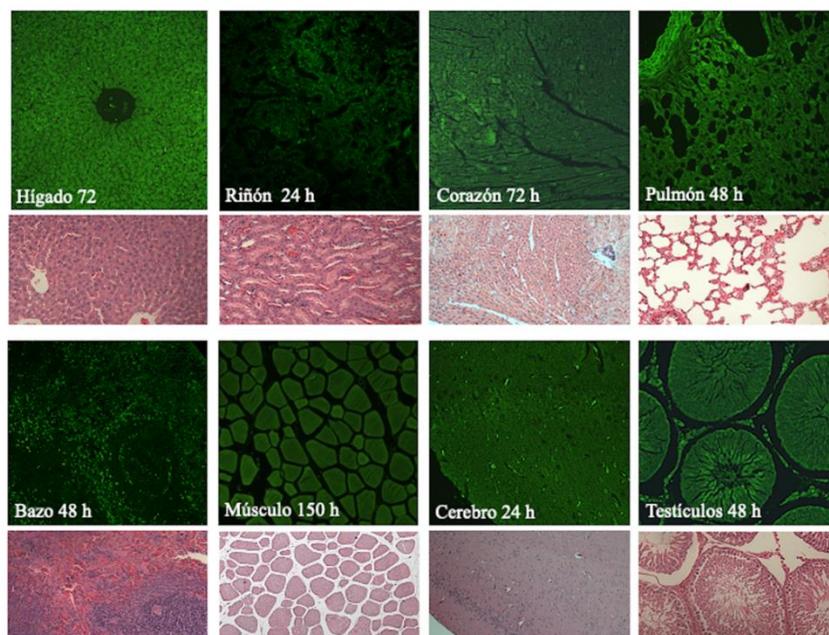
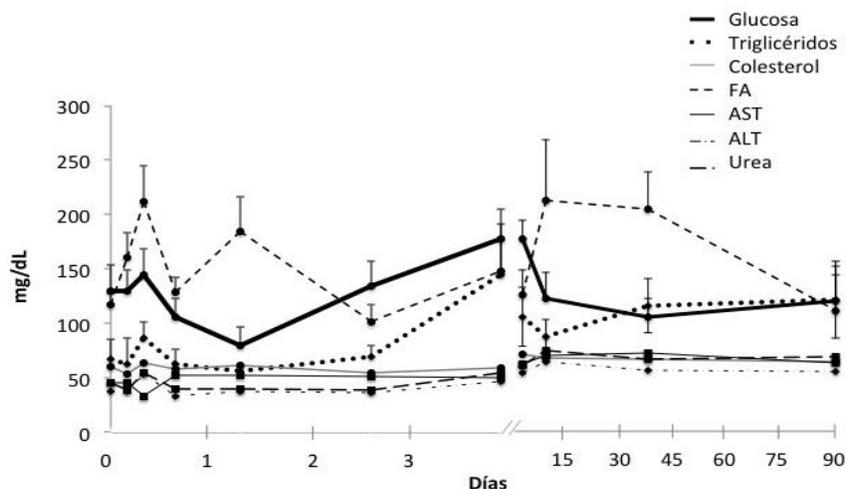


Figura 1.3 Variaciones en los parámetros bioquímico clínicos de los PCs CdS-Dex en rata.



La cuantificación de los PCs en sangre, es difícil de realizar por todos los elementos que ésta contiene. Por lo que, la cuantificación de los nanomateriales en los tejidos refleja como es la distribución de éstos a nivel tisular. En el presente estudio nosotros administramos una dosis única de PCs e hicimos la cuantificación a lo largo de 90 días para hacer un estudio de disposición o farmacocinético. Encontramos que, el hígado es el principal órgano captador de PCs de CdS-Dex, (10-20 veces más que en otros órganos). Mientras que, en músculo, corazón y bazo, la cantidad fue mucho menor. Algo que llamo la atención fue la baja cantidad de nanopartículas detectadas en riñón, lo cual indica que probablemente su paso por este órgano es muy corto, y que son eliminadas fácilmente. Debido a que los PCs de CdS-Dex tienen un tamaño pequeño (3nm) esto les facilito atravesar barreras biológicas, en particular las barreras hemato-encefálica y hemato-testicular. Estas barreras son una interfase y actúan como barreras físicas y metabólicas para regular y proteger el microambiente del cerebro y/o testículo. La ventaja de que los PCs de CdS-Dex atraviesen la barrera hemato-encefálica es que podrían fungir como nanovehículos para llevar fármacos al sistema nervioso central para ejercer efectos terapéuticos. Sin embargo, el inconveniente que tienen es que estos órganos en ocasiones son susceptibles a presentar daño por agentes tóxicos (Arami, Khandhar, Liggitt, & Krishnan, 2015). Aunque la cantidad de PCs que se detectó varió en los diferentes tejidos estudiados, fue evidente que no hubo alteración morfológica en ninguno de ellos.

La determinación de los parámetros farmacocinéticos es de gran utilidad en farmacología, pues esto permite saber que cantidad de una molécula determinada hay dentro del organismo, que tiempo permanecen en el organismo y en que tiempo se eliminarán. El TMR es uno de los principales parámetros que son usados en investigaciones en estudios farmacocinéticos, pues indirectamente indica como son los procesos de absorción, distribución, metabolismo y eliminación (ADME) y da una estimación del tiempo promedio que los PCs permanecen en el organismo (Rodallec, Benzekry, Lacarelle, Ciccolini & Fanciullino, 2018). Al cuantificar el TMR en este estudio encontramos que el sitio donde permanecieron mayor tiempo los PCs fue en los testículos, hígado y músculo, y en los que menor tiempo permanecieron fue en el cerebro y riñón. Las imágenes tomadas con microscopio de epifluorescencia también pusieron en evidencia que los PCs pueden ser utilizados para bioimagen, pues permitieron visualizar claramente la morfología de los diferentes tejidos estudiados.

Si bien, no observamos alteraciones morfológicas en los tejidos, fue interesante conocer que a su paso por el organismo los PCs sí pueden producir una serie de alteraciones bioquímicas que pueden ser detectadas en la sangre de los animales. Las principales alteraciones ocurrieron en los primeros 3 días posterior a la administración de los PCs, hubo alteraciones en los niveles de glucosa, triglicéridos, colesterol, FA, AST, ALT y urea. Posterior a este tiempo, algunos siguieron elevados, pero la mayoría de los parámetros analizados regresaron a su normalidad a los 90 días. Puesto que el hígado es el principal órgano metabolizador del organismo, los hallazgos bioquímicos nos sugieren que el paso de los PCs por el hígado si altera temporalmente su funcionamiento, pero que este órgano es capaz de adaptarse a su presencia y retornar a su funcionamiento normal, sin producir alteraciones morfológicas. Con estos resultados demostramos que los PCs de CdS-Dex fueron bien tolerados por las ratas.

Se ha reportado previamente, que la presencia de nanopartículas de oro de 5-10 nm produjeron daño hepático agudo severo en rata, el cual se caracterizó por alteraciones en la estructura de estos órganos (Singh, Jairath, & Ahlawat, 2016).

Por otro lado, el hecho de no haber encontrado alteraciones en los niveles de creatinina a lo largo del tiempo sugiere que el riñón no se ve afectado funcionalmente por los PCs, y esto es importante si consideramos que el riñón es el principal órgano excretor del organismo. En estudios previos, han mostrado que PCs de Ag₂S también se acumulan principalmente en hígado y bazo y, son gradualmente depurados; también observaron que no causaron alteraciones bioquímicas y hematológicas importantes en un periodo de 60 días (Zhang, Zhang, Hong & He, 2013). Los resultados mostraron que los PCs de CdS-Dex tienen una amplia distribución y un MRT muy largo sin producir toxicidad significativa. Debido a la alta intensidad de fluorescencia emitido por las nanopartículas CS-DX, fue posible visualizar claramente la morfología del tejido; por lo tanto, estos PCs tienen el potencial de ser utilizados en bioimagen en actividades de diagnóstico y tratamiento.

1.2 Biocompatibilidad de PCs de CdS-Dex en ratas

Biocompatibilidad es una palabra que se usa extensamente en la ciencia de biomateriales. La incorporación de PCs dentro de sistemas biológicos requiere estrategias para la manipulación de ligandos unidos a la superficie de los PCs para hacerlos más solubles en agua y biocompatibles, es decir, compatibles con tejidos vivos por no ser tóxicos, dañinos o fisiológicamente reactivos (Shang et al., 2014). Los PCs deben volverse solubles en agua a través de la modificación de su superficie en preparación para aplicaciones biológicas. Sin embargo, los PC de alta calidad están hechos principalmente con metales pesados como el cadmio, cuya toxicidad a largo plazo es en gran parte desconocido (Yoo, Chambers, & Mitragotri, 2010).

La estabilidad y biocompatibilidad de los PCs que contienen cadmio puede ser obtenida a través de un procedimiento de intercambio completo de ligando, o mediante estabilización estérica, donde la superficie hidrofóbica nativa se recubre con polímeros anfifílicos (Zhang & Clapp, 2011; Zhou, Gao, Xu, Wang & Xum, 2009). Los polímeros pueden actuar como sitios de coordinación para la agregación de iones de cadmio y proteger los PCs. Polímeros solubles añadidos durante la síntesis han sido utilizados como agente de protección de PCs de CdS y CdSe, lo que resulta en un tamaño de partícula uniforme, esto al parecer, les permite entrar a células y tejidos sin producir daño, es decir ser biocompatibles.

Para evaluar la biocompatibilidad de PCs de CdS-Dex se utilizaron 24 ratas Wistar machos (110-130 g), y se asignaron aleatoriamente a uno de los siguientes grupos: Control (6 animales), las ratas se trataron diariamente con un i.p. dosis de PBS (200 µL) durante 90 días; (2) PCs de CdS-Dex (18 animales), las ratas se trataron diariamente con una dosis de 100 µg/Kg de PCs de CdS-Dex i.p. durante 30, 60 o 90 días. Después de un tiempo, los animales fueron sacrificados como se describió anteriormente. Las muestras de tejido se procesaron y observaron bajo un microscopio de luz y epifluorescencia con el objetivo de realizar un análisis histopatológico. También se realizó un análisis bioquímico clínico en muestras de sangre para saber si la exposición a los PCs de CdS-Dex producían alteraciones.

La Figura 1.4 muestra un corte histológico representativo de los tejidos observados bajo microscopio de epifluorescencia tras la administración de dosis múltiples de PCs de CdS-Dex durante 30, 60 y 90 días. Como podemos observar, hubo una distribución homogénea de PCs en los tejidos en todos los tiempos analizados. La intensidad de la fluorescencia fue bastante similar en todos los tiempos, aún cuando el tiempo de tratamiento de los animales varió. El análisis histológico del hígado, el riñón y el cerebro no mostraron ninguna alteración morfológica, los tejidos son bastante similares al control. Sin embargo, las microfotografías de pulmón evidenciaron la presencia de un infiltrado inflamatorio después de 90 días de tratamiento; y, por otro lado, los testículos mostraron datos de atrofia y degeneración, 90 días después de recibir los PCs de CdS-Dx. La Tabla 2 muestra la cuantificación de los parámetros bioquímico clínicos analizados en suero de ratas a 30, 60 y 90 días. No se observó ninguna alteración en ratas tratadas diariamente con los PCs de CdS-Dx durante 30 días. Sin embargo, los animales tratados con PCs durante 60 días mostraron solamente niveles elevados de FA (73%) y urea (41%) en comparación con el grupo control ($p < 0,05$). Mientras que, a 90 días de tratamiento, solamente se observó que los niveles de urea permanecieron elevados (28%, $p < 0,05$).

Figura 1.4 Microfotografías de tejidos obtenidas de ratas tratadas diariamente con los PCs CdS-Dex durante 30, 60 y 90 días, amplificación 20X

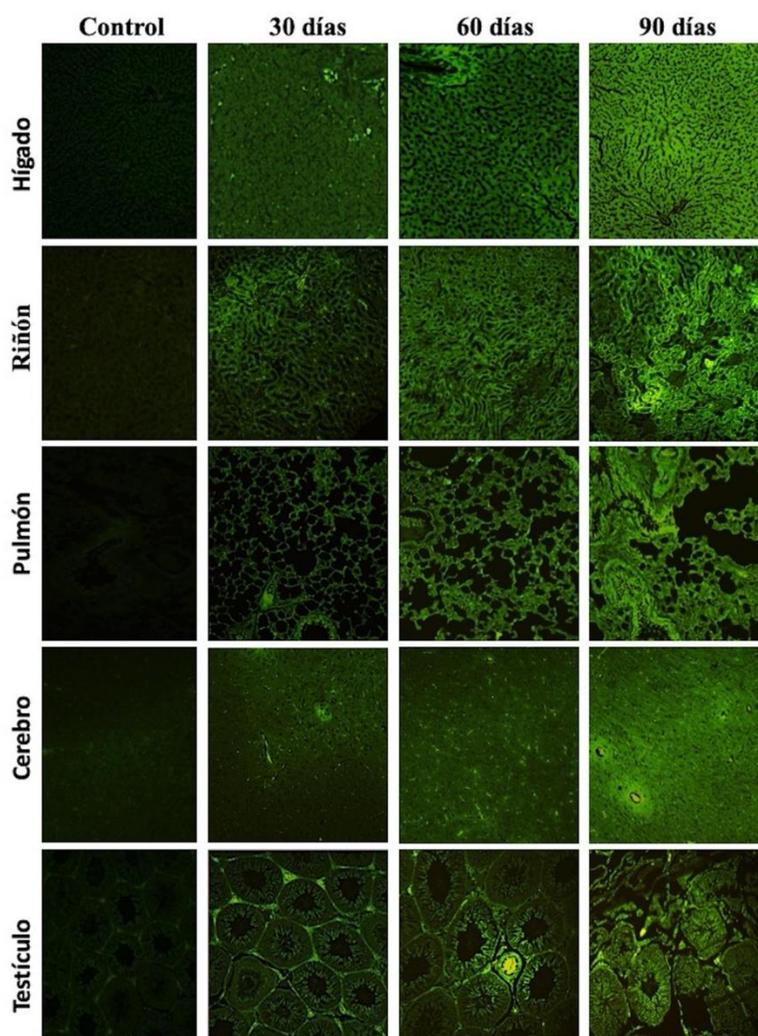


Tabla 1.2 Efecto de QDs de CdS-Dex sobre los parámetros bioquímico-clínicos después de 30, 60 y 90 días

Parámetro	Control	30 días	60 días	90 días
Glucosa	140.2 ± 19.4	120.5 ± 36.1	152.0 ± 43.3	159.9 ± 19.4
Triglicéridos	60.8 ± 13.7	112.3 ± 51.7	122.4 ± 34.4	187.0 ± 15.5
Colesterol	54.9 ± 8.9	59.4 ± 12.9	58.7 ± 3.3	64.9 ± 10.3
ALT	54.3 ± 8.6	54.5 ± 8.9	74.9 ± 25	57.5 ± 9.7
AST	160.2 ± 26	168.3 ± 20.1	146.5 ± 40.9	176.1 ± 29.0
FA	121.6 ± 33.7	156.9 ± 13	210 ± 31.4 *#&	113.8 ± 23.8
Urea	39.6 ± 8.4	35.8 ± 6.6	55.9 ± 8.3 *#	50.8 ± 2.0 #
Creatinina	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.7 ± 0.04
Ácido Úrico	5.2 ± 1.8	5.6 ± 1.7	10.6 ± 5.4	10.5 ± 3.4

Cada valor representa el promedio ± SD. * p<0.05 comparado con el grupo control; # p<0.05 comparado con el grupo de 30 días; **p<0.05 comparado con el grupo de 60 días; y & p<0.05 comparado con el grupo de 90 días.

En el presente estudio observamos que la exposición continua de PCs no produjo alteraciones morfológicas en hígado, riñón, y cerebro. Sin embargo, si hubo la presencia de un exudado inflamatorio en los pulmones, así como atrofia y degeneración testicular tras 90 días de exposición. Este último hallazgo era de esperarse si consideramos que tras la exposición con una sola dosis los PCs permanecieron por un periodo de tiempo muy prolongado. La exposición durante 90 días debió de causar una acumulación importante de los PCs en este órgano sensible a tóxicos. Algo interesante fue encontrar que no hubo alteraciones bioquímicas importantes, solo la FA a los 60 días y la urea desde los 60 días permanecieron elevados. La incorporación de polímeros a PCs le confiere ventajas en sus propiedades ópticas y biocompatibles.

Varios grupos han usado polímeros biocompatibles y los han considerado de utilidad para proteger las superficies químicas, hay una gran variedad descritos en la literatura, uno de los más usados es el polietilenglicol, el cual tiene muchas aplicaciones en medicina para preparar PCs fluoroforos biocompatibles (Fard, Jafari & Eghbal, 2015; Hassan & Singh, 2014). A pesar de que las nanopartículas han demostrado tener toxicidad selectiva (testículo). Se necesitan más estudios para asegurar que los PCs sean utilizadas de forma segura y eficiente en medicina.

1.3 Hemocompatibilidad de PCs de CdS-Dex en ratas

El uso de puntos cuánticos para fines teranósticos con mayor frecuencia requiere la ruta intravascular y, una vez que ingresan al torrente sanguíneo, deben contactar todos los componentes sanguíneos. Los eritrocitos son células sanguíneas que están continuamente expuestas a la agresión durante su vida útil, lo que produce constantes cambios bioquímicos y morfológicos (Zhang, 2016; Kim, Heo & Shin, 2016). Si bien se ha informado que algunos nanomateriales son seguros para estas células (Li, Guo, Zhang, Xue, & Liu, 2015; Barshtein, Livshits, Shvartsman & Arbell, 2016), es bien sabido que su interacción con los nanomateriales tiene efectos variados dependiendo del nanomaterial empleado. Algunos nanomateriales pueden inducir hemólisis (destrucción inmediata de los eritrocitos), que depende de la concentración y el tiempo de exposición (Zeng et al., 2018; Chen et al., 2018). Es posible evitar que una nanopartícula produzca hemólisis mediante el uso de tensoactivos (Thasneem, Sajeesh & Sharma, 2011) y recubrimientos (Ferdous, Beegam, Tariq, Ali & Nemmar, 2018). Sin embargo, la hemólisis no es la única alteración asociada hasta ahora a la interacción nanomaterial/eritrocito. Algunas nanopartículas inducen alteraciones que pueden conducir al estrés de los eritrocitos e inducen la muerte, lo que desencadenará diversos efectos fisiopatológicos asociados con la compensación deficiente de la eritropoyesis y la pérdida consecutiva de su presencia en la sangre (Lang & Lang, 2015).

Para evaluar la hemocompatibilidad los eritrocitos se prepararon con base al método descrito por Nemmar, Zia, Subramaniyan, Al-Amri & Ali, 2012. Los eritrocitos se separaron por centrifugación. El sobrenadante fue utilizado para el ensayo de hemólisis y análisis topográfico. El ensayo de hemólisis utilizado en el presente estudio siguió el método descrito previamente por Neun & Dobrovolskaia, 2011. Por cada ensayo, se colocaron 1×10^7 eritrocitos y se resuspendieron con una solución amortiguadora (KCl 150mM + Tris 3mM), los eritrocitos fueron incubado con PCs de CdS-Dex a concentraciones de 0.1, 1, 10 y 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Luego de 30 minutos de exposición, se recolectó el sobrenadante, se transfirió a una placa de 96 pozos, y la cantidad de hemoglobina se midió a una longitud de onda de 550 nm en un lector de placas (VICTOR x3 PerkinElmer, Massachusetts, EE. UU.). Se utilizó una solución de NaCl 35mM control positivo.

Para el análisis topográfico, los eritrocitos fueron tratados con PCs de CdS-Dex a las concentraciones antes señaladas y se incubaron nuevamente durante 30 y 60 min. Transcurrido este tiempo se realizaron frotis en portaobjetos y se analizaron por microscopía de fuerza atómica XE-Bio (Park Systems Co., Suwan, Corea) para obtener imágenes topográficas de los eritrocitos. El análisis se realizó mediante el software XEP y XEI Park Systems.

La Figura 1.5 muestra el efecto de PCs de CdS-Dex sobre la integridad de los eritrocitos tratados con las diferentes concentraciones (0.1, 1, 10 y 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$). Los eritrocitos se incubaron durante 30 minutos. Se observó que los PCs de CdS-Dex causaron mínima hemólisis (5%) con todas las concentraciones usadas ($p < 0.05$). La Figura 6 muestra imágenes obtenidas por AFM de eritrocitos en 3D tratados con PCs de CdS-Dex con concentraciones de 0.1, 1, 10 y 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ durante 30 y 60 min. Las dos primeras imágenes corresponden a eritrocitos no tratados (grupo control) y a eritrocitos que se les indujo hemólisis. El eritrocito normal tiene características típicas de una célula sanguínea sana, con morfología ovalada, biconcava con una depresión central. El eritrocito hemolizado es un eritrocito destruido en totalidad, la célula muestra una pérdida de su morfología, sin bordes definidos debido a la ruptura de su membrana y la salida de contenido celular. A continuación, observamos eritrocitos tratados con 0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de PCs de CdS-Dex durante 30 min, el eritrocito muestra una morfología abultada y bordes indefinidos, planos, con grietas en la superficie de la membrana y ausencia de depresión central, como se muestra en la reconstrucción 3D. En el caso de los eritrocitos tratados con PCs de CdS-Dex 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ durante 30 minutos, las células mostraron bordes lisos y definidos, aumentados en ancho, planitud y falta de depresión central, así como "artefactos" que hicieron que la superficie se notara rugosa, lo que sugiere que podrían ser nanopartículas. Cabe destacar que, los eritrocitos tratados durante 60 minutos sí mostraron cambios significativos.

El eritrocito se observó con una membrana intacta, pero hubo una pérdida de biconcavidad, un aumento de tamaño y mayor presencia de abultamientos en su superficie, que aumentaron conforme aumento la concentración de PCs. Si bien, el análisis de hemólisis reveló que sólo un 5% de ellos sufrieron lisis, el análisis AFM no mostró evidencia de este efecto hemolítico con ninguna concentración. Esta discordancia en los resultados puede indicar que la hemólisis observada podría deberse a la manipulación de la muestra. Un dato curioso obtenido en el análisis topográfico es que los eritrocitos mostraron pérdida de la biconcavidad.

Figura 1.5 Efecto de los PCs de CdS-dex sobre la integridad de los eritrocitos.

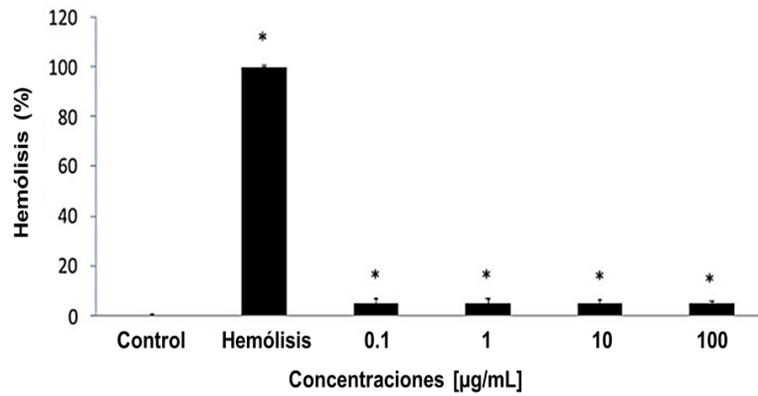
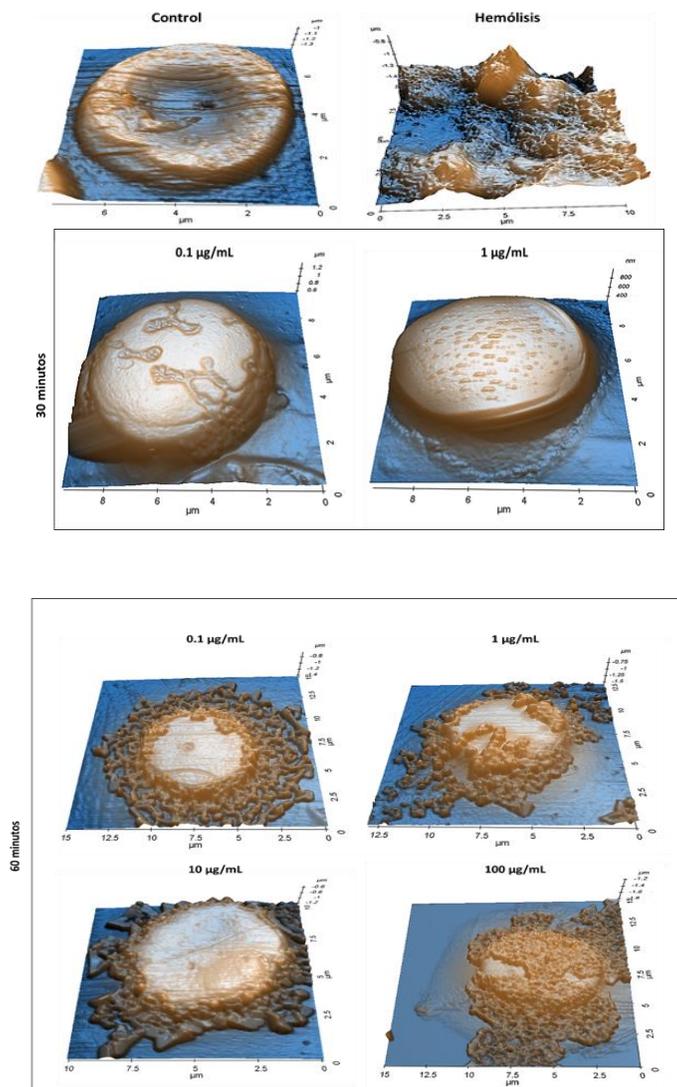


Figura 1.6 Imágenes representativas de AFM que muestran la morfología de la superficie de eritrocitos tratados con PCs CdS-Dex.



Previos estudios han demostrado que la interacción de nanomateriales/eritrocitos está asociado con efectos tóxicos. Un ejemplo de esto son los reportes sobre nanopartículas de oro de un tamaño de 30 nm, las cuales demostraron ser hemolíticas, este efecto de hemólisis no se observó en las nanopartículas más pequeñas (5, 10, 20 nm) (Cenni & Baldini, 2008). No obstante, otro estudio con nanopartículas de plata demostró que nanopartículas más pequeñas (1-3 nm) produjeron una mayor actividad hemolítica (60%) (Aseichev & Sergienko, 2014), lo que sugiere que la inducción de hemólisis no necesariamente está asociada al tamaño de las nanopartículas. También, se sabe que nanopartículas de oro de 3.2 nm recubiertas con polietilenglicol causaron ligera hemólisis (<5%) a concentraciones de 100 µg/mL; sin embargo, las nanopartículas no recubiertas pueden producir mayor efecto hemolítico (70%) incluso a menores concentraciones de 30 µg/mL (Hermanson, 2008).

En el presente trabajo los eritrocitos fueron incubados con PCs de CdS-Dex durante 30 minutos y observamos que sólo se produjo un mínimo efecto hemolítico (<5%), incluso a la mayor concentración de 100 µg/mL. Se observó que los eritrocitos tratados con PCs de CdS-dextrina (3-5 nm) causaron cambios morfológicos en la membrana eritrocitaria a concentraciones de 0.1 y 1 µg/mL después de 30 minutos de exposición. También se observaron alteraciones como pérdida de la biconcavidad, grietas y pequeños bultos en la superficie de la membrana. Sin embargo, en los eritrocitos tratados durante 60 minutos, se observó además aglomeración de las nanopartículas en la superficie de los eritrocitos. El análisis de las imágenes obtenidas en AFM y las mediciones topográficas mostraron evidencia de que los PCs de CdS-Dex produjeron cambios en su morfología similares a las ya reportadas en otros estudios. Sin embargo, no es claro si esos cambios pueden estar asociados con cambios funcionales de estas células, por lo que es necesario realizar estudios adicionales para elucidar esta cuestión.

1.4 Síntesis, caracterización y eficacia farmacológica de un bioconjugado de PCs de CdS-Dex/Doxorrubicina

Los PCs funcionalizados son de gran utilidad en biomedicina porque puede modificarse con una variedad de biomoléculas y pequeños polímeros biológicos, además de mejorar su bioactividad, con lo que se pueden disminuir sus efectos secundarios. Debido a estas características, los PCs pueden unirse de manera efectiva a las membranas celulares, lo que permite usarlas como excelentes sondas para la detección, diagnóstico, obtención de imágenes de células y administración de agentes terapéuticos. Los PCs preparados en solución acuosa pueden acoplarse covalentemente a varias biomoléculas para usarse como herramientas sensibles para objetivos biológicos (Gutiérrez-Sancha, Reyes-Esparza, Rodríguez-Fragoso, García-Vázquez & Rodríguez-Fragoso, 2015). Esto se puede lograr mediante los procedimientos de bioconjugación aceptados (Hermanson, 2008; Biju, Mundayor, Omkumar, Anas & Ishikawa, 2010). En particular, se requiere la conjugación de biomoléculas para utilizarlas en técnicas de imagen durante el monitoreo de la enfermedad y para la terapia fotodinámica de enfermedades, como el cáncer (Cai, Luo, Zhang, Du & Lin, 2016). De estas biomoléculas, la doxorrubicina se ha utilizado como agente de orientación contra células cancerosas en la terapia contra el cáncer. Sin embargo, las limitaciones de la doxorrubicina en la aplicación clínica están restringidas porque a menudo causan daños graves a células normales y tejidos sanos durante el tratamiento y, finalmente, la inmunidad sistémica. Para superar este problema, se han diseñado varios sistemas de administración de doxorrubicina para mejorar la eficacia del control de liberación de fármacos y una reducción significativa de la toxicidad en comparación con doxorrubicina libre. Entre los diferentes materiales, los PCs se han convertido en posibles portadores de fármacos para el tratamiento de muchos cánceres humanos. Existen diversas nanopartículas a base de doxorrubicina que se reportan en la literatura para su uso como sistemas de administración de fármacos (Chen et al., 2013; Meng, Zhong, Cheng & Guo, 2014).

La síntesis de PCs CdS-Dex se preparó en solución acuosa como previamente se reportó (Reyes-Esparza, 2015). La conjugación de PCs con biomoléculas se puede llevar a cabo mediante una unión electrostática, unión directa covalente unida a la superficie de los PCs de CdS-Dex. El proceso de bioconjugación implica la reacción de un grupo funcional con otro, dando como resultado la formación de un enlace covalente. La conjugación covalente de PCs CdS-Dex, es una de las estrategias de activación más utilizadas para las partículas de hidroxilo y se realiza bajo condiciones no acuosas y 1,1-carbonildiimidazol (CDI). Los intermedios activos se forman en excelente rendimiento debido a la fuerza impulsora creada por la liberación de dióxido de carbono e imidazol. El agente activador crea carbamato de imidazolilo en la superficie de la partícula, que luego es espontáneamente reactivo hacia las aminas. La conjugación posterior con un compuesto que contiene amina produce un enlace carbamato.

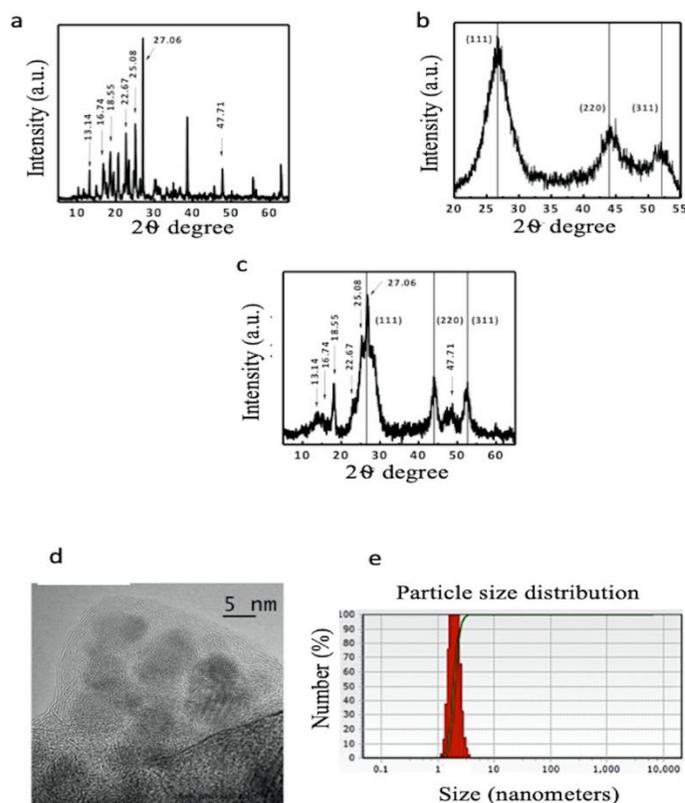
La formación de los PCs bioconjugados (CdS-Dex/Dox) se llevó a cabo mediante dispersión. Se suspendieron 1 mg de PCs de CdS-Dex recién preparados en 10 % de tetrahidrofurano (THF) que contiene CDI a una concentración de 0.1 M y se mezclaron durante varios minutos. Posteriormente, la doxorubicina (0.1 μ M) y los QDs fueron incubadas durante 4 horas; la solución rojiza se centrifugó a 9900 g durante 30 minutos. Los sedimentos se lavaron y los PCs bioconjugados (CdS-Dex/Dox) se secaron a 37 ° C durante 12 h.

La estructura y fase de los PCs bioconjugados se determinaron mediante difracción de rayos X en polvo usando el difractómetro de rayos X modelo Siemens D5000 (radiación de Cu $K\alpha$). El tamaño de partícula y la morfología se caracterizaron utilizando el modelo HRTEM JEM-ARM200CF de energía de haz de electrones de 80-200 KeV equipado con un módulo de pares de pistola de emisión en campo frío. La distribución de diámetro hidrodinámico de los PCs de CdS-Dex bioconjugados con doxorubicina se realizaron mediante un nanotracer (Microtra Inc EE. UU.). FTIR es una técnica apropiada para establecer la unión de la molécula de doxorubicina en los PCs de CdS-Dex en el proceso de bioconjugación. El espectro se registró con un espectrómetro (Thermo-Scientific Nicolet 6700) en bandas de absorción en el rango de 400-4000 cm^{-1} de longitud de onda con un tiempo de exploración de 180 segundos. El espectro de XRD de doxorubicina puro (Figura 1.7a) se caracterizó por picos de difracción agudos a diferentes valores de 2θ , que podrían indizarse a la dispersión desde diferentes planos asociados con la naturaleza cristalina de la doxorubicina. Nuestros resultados obtenidos a partir de los experimentos XRD son similares a los previamente reportados (Abdullahi-Kamba et al. 2013). El espectro XRD de los PCs de CdS-Dex, como se muestra en la Figura 7b, exhibe picos anchos prominentes a valores 2θ de 26.50, 44.0 y 52.130, que son consistentes con los picos de difracción de los planos de CdS en fase cúbica. Los mismos picos característicos también se pueden encontrar en el espectro de los PCs CdS-Dex/Dox (Figura 7c). El tamaño de los PCs se puede evaluar cuantitativamente a partir de los datos de XRD usando la ecuación de Debye-Scherrer, donde λ es la longitud de onda de la radiación de rayos X, β es el ancho y medio máximos (FWHM) en radianes del pico de XRD y χ el ángulo de difracción. Se encontró que el tamaño medio de partícula de los PCs de CdS-Dex/Dox del pico de difracción (220) es de aproximadamente 5 nm. Esto sugiere que la estructura cristalina de los PCs de CdS-Dex no se altera después de la bioconjugación con doxorubicina. Los picos correspondientes al plano de reflexión alrededor de $2\theta = 13.14^\circ, 16.74^\circ, 18.55^\circ, 22.67^\circ, 25.08^\circ, 27.06^\circ$ y 47.71° se atribuyen predominantemente a la presencia de la molécula Dox. Nuestros resultados de XRD proporcionan evidencia de la presencia de doxorubicina en los PCs de CdS-Dex después de la conjugación.

Para identificar la localización intracelular de las nanopartículas

En la Figura 1.7d se muestra una imagen de HRTEM típica de los PCs de CdS-Dex/Dox. La imagen muestra claramente que las nanopartículas presentan una buena uniformidad en tamaño y forma, además revela que los PCs conjugados con doxorubicina presentan buena dispersión, morfología esférica y su diámetro promedio puede estimarse en el rango de 5 nm. La Figura 7e muestra las distribuciones de diámetro hidrodinámico de los PCs de CdS-Dex/Dox medido por DLS, y representa un diámetro promedio de 5 nm con una distribución relativamente estrecha, que es consistente con los resultados de XRD y HRTEM.

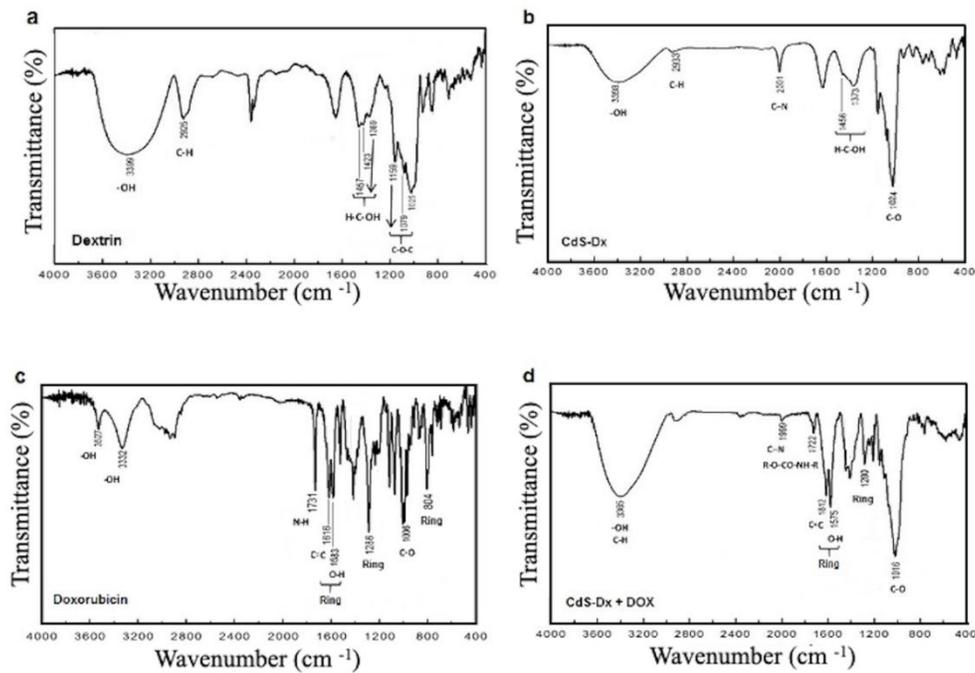
Figura 1.7 Los patrones de XRD muestran la estructura cristalina de Dox puro (a), planos típicos de fase cúbica de CdS (b) y de los PCs CdS-Dex bioconjugados con Dox (c). Imagen HRTEM de los PCs de CdS-Dex bioconjugados con Dox. (b) DLS muestra la distribución del tamaño de partícula de los PCs de CdS-Dex bioconjugados con Dox



El espectro FTIR de la dextrina con los picos principales identificados por las flechas se representa en la Figura 8. Para la dextrina pura, el pico a 3399 cm^{-1} se debe a las vibraciones de estiramiento de O-H, un pequeño pico a 2925 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones de estiramiento C-H. Los picos a 1457 cm^{-1} , 1423 cm^{-1} y 1369 cm^{-1} están asociados a vibraciones HC-OH δ , y las bandas a 1159 cm^{-1} , 1079 cm^{-1} y 1025 cm^{-1} están asignadas a vibraciones de estiramiento de COC, resultados similares han sido reportados (Predoi, 2007). El espectro FTIR de los PCs de CdS recubiertos con dextrina (Figura 7b) presenta las mismas posiciones de línea que en la Figura 7a, excepto que hay un pico adicional en comparación con dextrina pura a 2001 cm^{-1} debido a la vibración de estiramiento de CN como una consecuencia de la tiourea utilizada en la síntesis de las nanopartículas CdS. El espectro FTIR de Dox puro (Figura 7c) muestra picos a 3527 cm^{-1} y 3332 cm^{-1} debido a las vibraciones de estiramiento O-H. La banda de absorción a 1731 cm^{-1} se asigna a las vibraciones de flexión NH para la estructura de amina primaria, las bandas a 1616 cm^{-1} y 1583 cm^{-1} están diseñadas para las vibraciones de estiramiento de dos grupos carbonilo del anillo de antraceno, bandas en 1286 cm^{-1} y 804 cm^{-1} debido a la vibración esquelética de la molécula de doxorubicina (Das, G., et al., 2010). El espectro FTIR de los PCs de CdS-Dex/Dox (Figura 8d) muestra un pico ancho a 3365 cm^{-1} como resultado de las vibraciones de estiramiento superpuestas O-H y C-H. La banda de absorción se observó a 1722 cm^{-1} , mostrando evidencia de modificación de los PCs de CdS-Dex durante el proceso de bioconjugación con doxorubicina, como se explica en la sección de síntesis; el pico a 2001 cm^{-1} en los PCs de CdS-Dex disminuye en intensidad en comparación con el espectro del FTIR del bioconjugado. A partir de estos resultados de FTIR, se puede sugerir que la unión de doxorubicina a los PCs de CdS-Dex ocurre a través de la interacción de grupos amino de doxorubicina con la carbonilimidazolida derivada de la amina primaria que reacciona *in situ* con un nucleófilo como grupos OH de PCs CdS-Dex, proporcionando el carbamato correspondiente.

A partir de estos resultados FTIR, se puede sugerir que la unión de doxorubicina a los PCs de CdS-Dex se produce a través de la interacción de los grupos amina de la doxorubicina con el carbonilimidazolido derivado de la amina primaria que reacciona *in situ* con un nucleófilo como los grupos OH de los PCs de CdS-Dex, proporcionando el carbamato correspondiente.

Figura 1.8 Espectros FT-IR experimentales, bandas IR de (a) molécula de dextrina pura, (b) PCs de CdS-Dex, (c) molécula Dox pura, y (d) PCs de CdS-Dex bioconjugados con Dox.



1.5 Evaluación del efecto farmacológico de los bioconjugados CdS-Dex/Dox en células HeLa

En este trabajo, se realizó la bioconjugación de estos PCs con doxorubicina para usarlo como nanotransportador para la entrega de fármaco en células HeLa, aprovechando sus propiedades ópticas y la ausencia de citotoxicidad a bajas concentraciones que producen estos PCs. La doxorubicina es una antraciclina compuesta por un anillo tetracíclico plano (anillos a, b, c y d) y por cadenas laterales variables que incluyen un aminoazúcar (Meng, Zhong, Cheng & Guo, 2014). La doxorubicina es uno de los medicamentos más comunes utilizados como herramienta de investigación para la mayoría de los tipos de cáncer. Por esta razón, ha sido y continúa siendo uno de los fármacos más utilizados para preparar conjugados con nanomateriales. Además, debido a que tiene la ventaja de ser fácilmente monitoreado en las células, sus efectos farmacológicos pueden evaluarse rápidamente en modelos *in vitro* (Zhang & Kong, 2015). Es bien sabido que la doxorubicina inhibe la multiplicación de células tumorales a través de varios efectos celulares, entre los más importantes están la intercalación entre bases de ADN debido a la estructura plana de antraciclina, lo que lleva a cambios topológicos que implican la inhibición del ADN, ARN y síntesis de proteína, produciendo estrés oxidativo y muerte celular (Carvalho et al., 2009). Para el estudio se utilizaron células HeLa (adenocarcinoma de cuello uterino) (ATCC, EE. UU.). Las células se cultivaron en medio DMEM (GIBCO, EE. UU.) con 10% de SFB (GIBCO, EE. UU.) y 100 U/ml de penicilina/100 µg/ml de estreptomina (GIBCO, EE. UU.), en una atmósfera humidificada al 5% de CO₂ a 37 °C. Las células HeLa se usaron para verificar la captación selectiva de los PCs de CdS-Dex solos y bioconjugados con doxorubicina. Las células (1×10^5) se sembraron en cubreobjetos estériles de 12 mm en una placa de 6 pozos. Las células se cultivaron durante 24 h, se lavaron con PBS y luego se incubaron con las PCs CdS-Dx (0.01 y 1 µg/ml) durante 24 h. Después de lavar las células se fijaron durante 20 minutos con paraformaldehído al 4%. Posteriormente, las células se lavaron nuevamente con PBS. Las células ya fijadas se cubrieron con un portaobjetos de vidrio con una gota de 10 µL de glicerol al 50%/PBS (v/v) y se colocó sobre el objetivo en un microscopio confocal (Nikon A1, Nikon, Japón). Los PCs de CdS-Dex se excitaron con un láser de 488 nm, y sus señales se recogieron a 515 y 680 nm. Con el fin de medir la captación celular de los bioconjugados CdS-Dex/Dox, se observó el cubreobjetos con células fijadas bajo un microscopio de fluorescencia. Para evaluar el efecto farmacológico de los PCs bioconjugados se realizó un ensayo de viabilidad celular utilizando células HeLa. La viabilidad celular se determinó usando un ensayo MTT (metiltetrazolio, Sigma Aldrich, EE. UU.). Para el ensayo de viabilidad celular, las células HeLa se sembraron en una placa de 96 pozos (10,000/pozo) y se incubaron durante 24 h a 37°C y 5% de CO₂. El medio de cultivo fue reemplazado por uno nuevo suplementado con diferentes concentraciones de PCs de CdS-Dex y el bioconjugado (0.01, 0.1, 1 y 10 µg/mL) y se incubó durante 24 h.

Después del tratamiento, el medio se retiró suavemente y se reemplazó con solución MTT (5 mg/mL). Se determinó la densidad óptica en un lector de microplacas (Bio-Rad) a una longitud de onda de 590 nm. Las células no tratadas sirvieron como control de viabilidad celular no tratada. Los resultados representaron un porcentaje de la viabilidad relativa de las células frente al control no tratado. Los resultados de MTT se presentan como valores relativos a los valores de control, expresados como porcentajes. Células fijadas se observaron bajo un microscopio confocal (Nikon A1, Nikon, Japón). Los PCs se excitaron con un láser de 488 nm, y sus señales se recogieron a 515 nm. Para evaluar también el efecto farmacológico de los PCs bioconjugados, se midió el tamaño del núcleo y de las células usando el software Image-Pro Insight 9 (Media Cybernetics Inc.).

El análisis de la viabilidad celular mostró que las células tratadas con los PCs de CdS-Dex/Dox mostraron una mayor mortalidad (Figura 9). Se encontró que las células tratadas con 1 $\mu\text{g/mL}$ de PCs CdS-Dex/Dox redujeron la viabilidad en 38% ($p < 0.05$), mientras que las células tratadas con 10 $\mu\text{g/mL}$, la viabilidad se redujo hasta 55% ($p < 0.05$). Las células tratadas con PCs no bioconjugadas también mostraron una viabilidad más baja (17%) con una concentración de 10 $\mu\text{g/mL}$ en comparación con las células control, pero no fue estadísticamente significativa.

Las propiedades fluorescentes de los PCs de CdS-Dex nos permiten monitorear la captación y distribución de los PCs de CdS-Dex/Dox directamente en las células HeLa. Los experimentos de captación y bioimagen de PCs de CdS-Dex se realizaron con un microscopio confocal de fluorescencia. Para esto, las células se incubaron con 1 $\mu\text{g/mL}$ de PCs de CdS-Dex, 1 $\mu\text{g/mL}$ de Dox y 1 $\mu\text{g/mL}$ de los PCs CdS-Dex/Dox durante 24 horas; luego se lavaron para eliminar cualquier QD libre. Como se puede observar en la Figura 10, la señal de fluorescencia se observó principalmente en el núcleo de las células tratadas con PCs de CdS-Dex (flecha amarilla). Sin embargo, en el caso de las células HeLa tratadas con doxorubicina no se observó en ninguna célula. En células tratadas con los PCs de CdS-Dx/Dox, se observó fluorescencia tanto en el citoplasma como en el núcleo. Fue evidente el cambio en la morfología celular de las células tratadas con PCs de CdS-Dex/Dox. No se observó una reducción obvia en el brillo de la fluorescencia bajo excitación continua durante 20 minutos, lo que indica la alta fotoestabilidad de los PCs CdS-Dex solos y del bioconjugado. Estábamos interesados en saber qué sucedía a las células HeLa si aumentábamos la cantidad de PCs bioconjugados, por lo que tratamos células también con 10 $\mu\text{g/mL}$ de PCs CdS-Dex/Dox. En la Figura 10, podemos observar que las células tratadas con 1 $\mu\text{g/mL}$ de Dox y PCs de CdS-Dx/Dox aumentaron en tamaño, tanto el citoplasma y el núcleo (ver flechas amarillas), además de eso, también se observaron presencia de células binucleadas. Sin embargo, las células tratadas con 10 $\mu\text{g/mL}$ de PCs de CdS-Dx/Dox mostraron células con un tamaño mayor (célula y núcleo), y además, había múltiples células que mostraban la aparición de formación de ampollas en la membrana; la fluorescencia fue más intensa en estos que aquellos tratados con 1 $\mu\text{g/mL}$.

Figura 1.9 Efecto de PCs de CdS-Dex bioconjugado con dox sobre la viabilidad de células Hela.

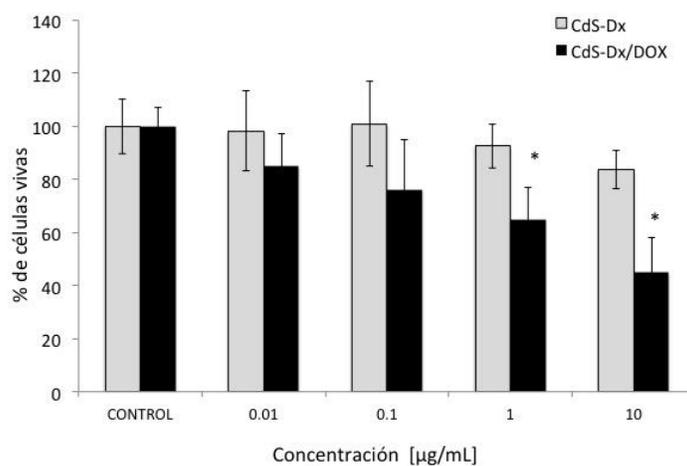
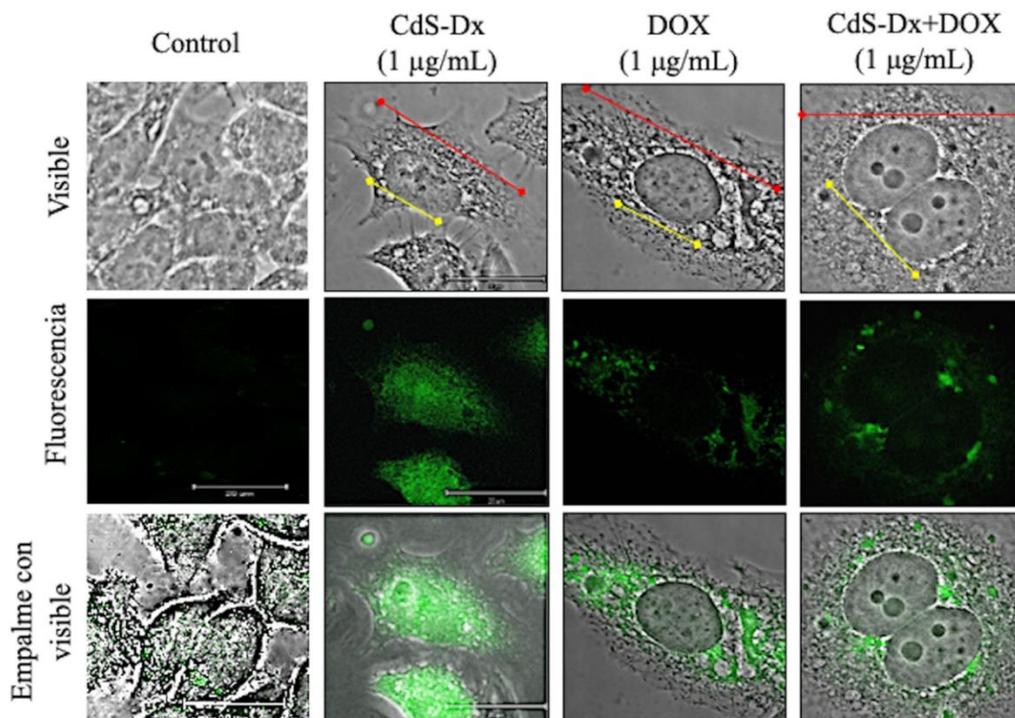


Figura 1.10 Imágenes microscópicas de fluorescencia que muestran la localización intracelular de los PCs de CdS-Dex bioconjugados con dox en células HeLa.



Los presentes resultados mostraron que las células tratadas con PCs de CdS-Dx bioconjugados con doxorubicina tenían un mayor tamaño, tanto en la célula como en el núcleo, y también se encontraron células binucleadas. Uno de los mecanismos de acción de doxorubicina es la inducción de la expresión de la proteína p53, que a su vez detiene el ciclo celular en la fase G1 o G2 / M. La detención en esas fases induce un aumento en el tamaño de las células porque las células se detienen en las fases de las células de crecimiento, y este efecto se ha encontrado con nanopartículas conjugadas con doxorubicina (Augustin et al., 2016; Rudnick-Glick, Corem-Salkmon, Grinberg & Margel, 2016). Mostramos que las células tratadas con PCs de CdS-Dx/dox eran más grandes en comparación con las células control. Eso significa que doxorubicina probablemente indujo la detención del ciclo celular. Pero curiosamente, esas células tratadas con PCs de CdS-Dx/doxorubicina mostraron características típicas de aparición de apoptosis. Estudios previos realizados por otros grupos que utilizan nanopartículas conjugadas con doxorubicina han demostrado que el efecto citotóxico de doxorubicina se conserva y es capaz de inducir apoptosis y necrosis en diferentes líneas celulares (Zhang et al., 2016; Sangtani et al., 2018; Ma et al., 2015). Por otro lado, otros estudios han explicado que la distribución de DOX basada en QD permitió su expansión celular y, como consecuencia, produjo mejores resultados farmacológicos (Vyas D., (2015)). Nuestros resultados coincidieron con eso, la presencia de alta fluorescencia en aquellas células tratadas con CdS-Dx / QDs bioconjugados con DOX mostró una mayor acumulación de fármaco intranuclear que fue responsable de los cambios morfológicos, probablemente debido a la detención del ciclo celular, y una mayor presencia de apoptosis versus doxorubicina libre.

1.6 Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

1.7 Conclusiones

En el presente trabajo se muestra evidencias de la buena distribución, biocompatibilidad y hemocompatibilidad de los PCs de CdS-Dex en rata y en células en dosis única, así como su tolerabilidad y biocompatibilidad a largo plazo. Además, mostramos evidencias de efectividad como nanotransportadores de fármacos. Los presentes resultados mostraron que los PCs de CdS-Dex conjugados con doxorubicina produjeron los típicos cambios morfológicos que produce la doxorubicina, aunque los PCs conjugados mostraron mayores efectos farmacológicos. Los PCs de CdS-Dex tienen el potencial de usarse en bioimagen y como nanovehículos para el transporte de fármacos, teniendo la ventaja de que puede ser distribuido a cualquier tejido, atravesar barreras fisiológicas, ser bien tolerados, y biocompatibles.

1.8 Referencias

- Albus U. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (8th edn). Laboratory Animals. 2012;46(3):267-268.
- Ali, A., Ansari, V.A., Ahmad, U., Akhtar, J. & Jahan A. (2017). Nanoemulsion: An Advanced Vehicle For Efficient Drug Delivery. *Drug research (Stuttgart)*, 67(11):617-631.
- Arami, H., Khandhar, A., Liggitt, D. & Krishnan, K.M. (2015). In vivo delivery, pharmacokinetics, biodistribution and toxicity of iron oxide nanoparticles. *Chemical Society Reviews*. 44(23): 8576–8607. <http://dx.doi.org/10.1039/C5CS00541H>.
- Aseichev, A., Sergienko, V.I. (2014). Effects of Gold Nanoparticles on Erythrocyte Hemolysis. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 156:495–498.
- Augustin, E., Czubek, B., Nowicka, A.M., Kowalczyk, A., Stojek, Z. & Mazerska, Z. (2016). Improved cytotoxicity and preserved level of cell death induced in colon cancer cells by doxorubicin after its conjugation with iron-oxide magnetic nanoparticles. *Toxicology In Vitro*, 33:45-53. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.02.009>.
- Barrios-Gumiela, A., Gómez, R. & De la Mata, J. (2020). Effect of PEGylation on the biological properties of cationic carbosilane dendronized gold nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*. 573:118867. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118867>.
- Barshtein, G., Livshits, L., Shvartsman, L.D. & Arbell, D. (2016). Polystyrene Nanoparticles Activate Erythrocyte Aggregation and Adhesion to Endothelial Cells. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 74:19–27.
- Biju, V., Mundayor, S., Omkumar, R.V., Anas, A. & Ishikawa M (2010) Bioconjugated quantum dots for cancer research: Present status, prospects and remaining issues. *Biotechnology Advances*, 28(2):199-213. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.007>.
- Cai, X., Luo, Y., Zhang, W., Du, D. & Lin, Y. (2016). pH-sensitive ZnO quantum dots-doxorubicin nanoparticles for lung cancer targeted drug delivery. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8:22442-22450. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b04933>.
- Carvalho, C., Santos, R.X., Cardoso, S., Correia, S., Oliveira, P.J., Santos, M.S. & Moreira, P.I. (2009). Doxorubicin: the good, the bad and the ugly effect. *Current Medicinal Chemistry*, 16(25):3267-85.
- Cenni, E. & Baldini, N. (2008). Biocompatibility of poly (D,L-lactide-co-glycolide) nanoparticles conjugated with alendronate. *Biomaterials*. 29:1400-1411. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.12.022>.
- Chen, H., Moore, T., Qi, B., Colvin, D.C., Helen, E.K., Hitchcock, D.A., He, J., Mefford, O.T., Gore, J.C., Alexis, F. & Anker, F.N. (2013). Monitoring pH-triggered drug release from radioluminescent nanocapsules with X-ray excited optical luminescence. *ACS Nano*, 7:1178-1187. <https://doi.org/10.1021/nn304369m>.
- Chen, L.Q., Fang, L., Ling, J., Ding, C.Z., Kang, B. & Huang, C.Z. (2015). Nanotoxicity of Silver Nanoparticles to Red Blood Cells: Size Dependent Adsorption, Uptake, and Hemolytic Activity. *Chemical Research in Toxicology*. 28(3):501-509. <https://doi.org/10.1021/tx500479m>.
- Das, G., Nicastrì, A., Coluccio, M.A., Gentile, F., Candeloro, P., Cojoc, G., Liberale, C., De Angelis, F. & Di Fabrizio, E. (2010). FTIR, Raman, RRS measurements and DFT calculation for doxorubicin. *Microscopy Research and Technique*, 73:991-995. <https://doi.org/10.1002/jemt.20849>.
- Ding, C. & Li, Z. (2017). A review of drug release mechanisms from nanocarrier systems. *Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications*, 1;76:1440-1453. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.130>.

- Ďurišová MA. (2014). Physiological view and structures of mean residence times. *General Physiology and Biophysics*. 3(1):75-80. http://dx.doi.org/10.4149/gpb_2013060.
- Fang, M., Chen, M., Liu, L. & Li, Y. (2017). Applications of Quantum Dots in Cancer Detection and Diagnosis: A Review. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 13(1):1-16. <https://doi.org/10.1166/jbn.2017.2334>
- Fard, J.K., Jafari, S. & Eghbal, M.A. (2015). A Review of Molecular Mechanisms Involved in Toxicity of Nanoparticles. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. 5(4):447-454. <https://doi.org/10.15171/apb.2015.061>.
- Ferdous, Z., Beegam, S., Tariq, S., Ali, B.H. & Nemmar, A. (2018). The in Vitro Effect of Polyvinylpyrrolidone and Citrate Coated Silver Nanoparticles on Erythrocytic Oxidative Damage and Eryptosis. *Cellular Physiology and Biochemistry*. 49(4):1577-1588. <https://doi.org/10.1159/000493460>.
- Gutiérrez-Sancha, I., Reyes-Esparza J., Rodríguez-Fragoso, P., García-Vázquez, F. & Rodríguez-Fragoso, L. (2015). Bright Green Emitting Maltodextrin Coated Cadmium Sulfide Quantum Dots as Contrast Agents for Bioimaging: A Biocompatibility Study. *International Journal of Nanomedicine and Nanosurgery*, 1(2):1-10. <http://dx.doi.org/10.16966/2470-3206.107>.
- Hara, E., Makino, A., Kurihara, K., Yamamoto, F., Ozeki, E. & Kimura, S. (2012). Pharmacokinetic change of nanoparticulate formulation "Lactosome" on multiple administrations. *International Immunopharmacology*, 14(3):261-266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intimp.2012.07.011>.
- Hassan, S. & Singh, A.V. (2014). Biophysicochemical perspective of nanoparticle compatibility: a critically ignored parameter in nanomedicine. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 14(1):402-414. <https://doi.org/10.1166/jnn.2014.8747>
- Hermanson, T.G. (2008). *Bioconjugate Techniques*. Illinois, Chicago; EE.UU. Elsevier.
- Jurj, A., Braicu, C., Pop, L.A., Tomuleasa, C., Gherman, C.D. & Berindan-Neagoe, I. The new era of nanotechnology, an alternative to change cancer treatment. *Drug Design, Development and Therapy*, 11:2871-2890.
- Kettiger, H., Schipanski, A., Wick, P. & Huwyler, J. (2013). Engineered nanomaterial uptake and tissue distribution: from cell to organism. *International Journal of Nanomedicine*. 8: 3255–3269. <http://dx.doi.org/10.2147/IJN.S49770>.
- Kim, J., Heo, Y.J. & Shin, S. (2016). Haemocompatibility evaluation of silica nanomaterials using hemorheological measurements. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 62(2):99-107. <https://doi.org/10.3233/CH-151953>.
- Lang, E. & Lang, F. (2015). Mechanisms and pathophysiological significance of eryptosis, the suicidal erythrocyte death. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 39:35-42. <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2015.01.009>
- Ley Estatal de Fauna, Capítulo V, Art. 32, 2001
- Li, S., Guo, Z., Zhang, Y., Xue, W. & Liu, Z. (2015). Blood Compatibility Evaluations of Fluorescent Carbon Dots. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 7(34):19153-19162. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b04866>.
- Ma, H., Liu, Y., Shi, M., Shao, X., Zhong, W., Liao, W. & Xing, M.M. (2015). Theranostic, pH-responsive, doxorubicin-loaded nanoparticles inducing active targeting and apoptosis for advanced gastric cancer. *Biomacromolecules* 16:4022-4031. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.5b01039>.
- Meng, F., Zhong, Y., Cheng, R. & Guo, T. (2014). pH-sensitive polymeric nanoparticles for tumor targeting doxorubicin delivery: Concept and recent advances. *Nanomedicine* 9:487-499. <https://doi.org/10.2217/nmm.13.212>.

- Meng, F., Zhong, Y., Cheng, R. & Guo, T. (2014). pH-sensitive polymeric nanoparticles for tumor targeting doxorubicin delivery: Concept and recent advances. *Nanomedicine* 9:487-499. <https://doi.org/10.2217/nmm.13.212>.
- Mir, M., Ishtiaq, S., Rabia, S., Khatoon, M., Zeb, A., Khan, G.M., Ur Rehman, A. & Ud Din, F. (2017). Nanotechnology: from In Vivo Imaging System to Controlled Drug Delivery. *Nanoscale Research Letters*, 12(1):500.
- Mitragotri, S., Anderson, D.G., Chen, X., Chow, E.K., Ho, D., Kabanov, A.V., Karp, J.M., Kataoka, K., Mirkin, C.A., Petrosko, S.H., Shi, J., Stevens, M.M., Sun, S., Teoh, S., Venkatraman, S.S., Xia, Y., Wang, S., Gu, Z. & Xu, C. (2015). Accelerating the Translation of Nanomaterials in Biomedicine. *ACS Nano*, 9(7):6644-6654.
- Nemmar, A., Zia, S., Subramaniyan, D., Al-Amri, I. & Ali, B.H. (2012). Interaction of diesel exhaust particles with human, rat and mouse erythrocytes in vitro. *Cell Physiol. Biochem.* 29(1-2):163-70. <http://doi.org/10.1159/000337597>.
- Neun, B. & Dobrovolskaia, M.A. (2011). Method for analysis of nanoparticle hemolytic properties in vitro. *Characterization of Nanoparticles Intended for Drug Delivery*. 697, 215-24.
- Predoi, D. (2007). A study in iron oxide nanoparticles coated with dextrin obtained by coprecipitation. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 2:169-173.
- Quesada-González, D., & Merkoçi, A. (2018). Nanomaterial-based devices for point-of-care diagnostic applications. *Chemical Society Reviews*, 47(13):4697.
- Reyes-Esparza, J., Martínez-Mena, A., Gutierrez-Sancha, I., Rodriguez-Fragoso, P., Gonzalez de la Cruz, G., Mondragón, R. & Rodriguez-Fragoso, L. (2015). Synthesis, characterization and biocompatibility of cadmium sulfide nanoparticles capped with dextrin for in vivo and in vitro imaging application. *Journal of Nanobiotechnology*, 13: 2-14 <http://dx.doi.org/10.1186/s12951-015-0145-x>.
- Rodallec, A., Benzekry, S., Lacarelle, B., Ciccolini, J. & Fanciullino, R. (2018). Pharmacokinetics variability: Why nanoparticles are not just magic-bullets in oncology. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 129:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2018.06.008>.
- Rodríguez-Fragoso, P., Reyes-Esparza, J., León-Buitimea A. & Rodríguez-Fragoso L. (2012). Synthesis, characterization and toxicological evaluation of maltodextrin capped cadmium sulfide nanoparticles in human cell lines and chicken embryos. *Journal of Nanobiotechnology*, 47:1-11.
- Rudnick-Glick, S., Corem-Salkmon, E., Grinberg, I. & Margel, S. (2016). Targeted drug delivery of near IR fluorescent doxorubicin-conjugated poly (ethylene glycol) bisphosphonate nanoparticles for diagnosis and therapy of primary and metastatic bone cancer in a mouse model. *Journal of Nanobiotechnology*, 14(1):80.
- Sangtani, A., Petryayeva, E., Wu, M., Susumu, K., Oh, E., Huston, A.L., Lasarte-Aragones, G., Medintz, I.L., Russ Algar, W. & Delehanty, J.B. (2018). Intracellularly actuated quantum dot-peptide-Doxorubicin nanobioconjugates for controlled drug delivery via the endocytic pathway. *Bioconjugate Chemistry*, 29(1):136-148. <http://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.7b00658>.
- Shang, W., Zhang, X., Zhang, M., Fan, Z., Sun, Y., Han, M. & Fan, L. (2014). “The uptake mechanism and biocompatibility of graphene quantum dots with human neural stem cells”, *Nanoscale*, 6:5799-5806. <https://doi.org/10.1039/C3NR06433F>.
- Singh, P.K., Jairath, G. & Ahlawat, S.S. (2016). Nanotechnology: a future tool to improve quality and safety in meat industry. *Journal of Food Science and Technology*. 53:1739-1749. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2090-y>.

- Thasneem, Y.M., Sajeesh, S. & Sharma, C.P. (2011). Effect of thiol functionalization on the hemocompatibility of PLGA nanoparticles. *Journal of Biomedical Materials Research*. 99,607-617. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.33220>.
- Vyas, D., Lopez-Hisijos, N., Gandhi, S., El-Dakdouki, M., Basson, M.D., Walsh, M.F., Huang, X., Vyas, A.K. & Chaturvedi, L.S. (2015). Doxorubicin-Hyaluronan Conjugated Super-Paramagnetic Iron Oxide Nanoparticles (DOX-HA-SPION) Enhanced Cytoplasmic Uptake of Doxorubicin and Modulated Apoptosis, IL-6 Release and NF-kappaB Activity in Human MDA-MB-231 Breast Cancer Cells. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15(9):6413-6422.
- Yoo, J.W., Chambers, E. & Mitragotri, S. (2010). "Factors that control the circulation time of nanoparticles in blood: challenges, solutions and future prospects", *Current Pharmacology Design*, 16(21):2298-307. <https://doi.org/10.2174/138161210791920496>.
- Yoshikawa, T., Nabeshi, H. & Yoshioka, Y. (2008). Evaluation of biological influence of nanomaterials using toxicokinetic and toxicoproteomic approach. *Yakugaku Zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*, 128:1715-25. <http://dx.doi.org/10.1248/yakushi.128.1715>.
- Zeng, H., Changjian, L., Zhang, X., Zhong, R., Wang, H., Liu, J. & Du L. (2018). The effects of gold nanoparticles on the human blood functions. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 46(2):720-726. <https://doi.org/10.1080/21691401.2018.1468769>.
- Zhang, H. (2016). Erythrocytes in nanomedicine: an optimal blend of natural and synthetic materials. *Biomaterials Science*. 4:1024-103. <https://doi.org/10.1039/C6BM00072J>.
- Zhang, M., Xiao, B., Wang, H., Han, M.K., Zhang, Z., Viennois, E., Xu, C. & Merlin, D. (2016). Edible Ginger-derived Nano-lipids Loaded with Doxorubicin as a Novel Drug-delivery Approach for Colon Cancer Therapy. *Molecular Therapy*, 24(10):1783-1796. <https://doi.org/10.1038/mt.2016.159>.
- Zhang, P, Kong, J. (2015). Doxorubicin-tethered fluorescent silica nanoparticles for pH-responsive anticancer drug delivery. *Talanta* 134:501-507. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.09.041>.
- Zhang, Y. & Clapp, A. (2011). "Overview of Stabilizing Ligands for Biocompatible Quantum Dot Nanocrystals", *Sensors*, 11(12):11036-11055. <https://doi.org/10.3390/s111211036>.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Hong, G. & He, W. (2013). Biodistribution, pharmacokinetics and toxicology of Ag₂S near-infrared quantum dots in mice. *Biomaterials*, 34(14):3629-3646. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.01.089>.
- Zhou, L., Gao, C., Xu, W., Wang, X. & Xum, Y. (2009). "Enhanced biocompatibility and biostability of CdTe quantum dots by facile surface-initiated dendritic polymerization", *Biomacromolecules*, 10(7):1865-1874. <https://doi.org/10.1021/bm9002877>

Capítulo 2 Diseño mecatrónico implementado en el desarrollo de prototipos virtuales y físicos

Chapter 2 Mechatronic design implemented in the development of virtual and physical prototypes

LUGO-GONZÁLEZ, Esther†*, VELARDE-GALVÁN, Alejandra y ARIAS-MONTIEL, Manuel

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Electrónica y Mecatrónica.

ID 1^{er} Autor: *Esther Lugo-González* / **ORC ID:** 0000-0002-7374-3425, **CVU CONACyT ID:** 47822

ID 1^{er} Coautor: *Alejandra Velarde-Galván* / **ORC ID:** 0000-0002-7302-5669, **CVU CONACyT ID:** 1061037

ID 2^{do} Coautor: *Manuel Arias-Montiel* / **ORC ID:** 0000-0003-4534-9401, **CVU CONACyT ID:** 43904

DOI: 10.35429/H.2020.5.22.39

E. Lugo, A. Velarde, M. Arias

elugog@mixteco.utm.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

En el desarrollo de sistemas mecatrónicos y robóticos, se ha trabajado en el diseño y construcción de prototipos, y algunas de las necesidades que surgen son la disminución de los tiempos de diseño, de manufactura, costos, precisión y exactitud en movimientos o trayectorias entre otras variables. Para resolver esto, se plantean diversas metodologías, que tienen como objetivo utilizar las bases del método científico y la ingeniería concurrente para generar sistemas mecatrónicos optimizando recursos. En este trabajo, se presenta la implementación de algunas metodologías de diseño mecatrónico en el desarrollo de prototipos virtuales y físicos funcionales con aplicaciones reales y específicas como en la robótica de rehabilitación, robótica móvil y manipuladores y máquinas varias. Se presenta la descripción de 6 prototipos en los que se muestran los resultados de aplicar una metodología de diseño mecatrónico y llevar una evaluación de las actividades desde que se genera la idea hasta que se tiene un prototipo terminado.

Diseño mecatrónico, metodologías de diseño, prototipos, simulación

Abstract

In the development of mechatronic and robotic systems, work has been done on the design and construction of prototypes, and some of the needs that arise are the reduction of design times, manufacturing, costs, accuracy and precision in movements or trajectories, among others variables. To solve this, various methodologies are proposed, which aim to use the foundations of the scientific method and concurrent engineering to generate mechatronic systems optimizing resources. In this work, we present the implementation of some mechatronic design methodologies in the development of virtual and physical functional prototypes with real and specific applications such as rehabilitation robotics, mobile robotics, and various manipulators and machines. The description of 6 prototypes showing the results of applying a mechatronic design methodology and assessing the activities from the time the idea is generated until a finished prototype is available.

Mechanical design, design methodology, prototype, simulation

2. Introducción

El desarrollo de sistemas mecatrónicos y robóticos se basa en la investigación, el diseño, construcción e implementación de la integración mecánica, eléctrica, electrónica o de control, con el objetivo de ahorrar energía y optimizar costos, manipular procesos y sistemas, e incrementar la calidad para obtener un producto final. Para tal fin se han desarrollado herramientas que resuelven cada una de las etapas, iniciando por la investigación y el diseño mecatrónico. En (Pacheco Vélez, 2020) se menciona que la investigación aplicada busca el uso de los conocimientos adquiridos para sistematizar e implementar la práctica y a partir de esta adquirir unos nuevos, por eso, se han diseñado metodologías que consideran varias etapas para llegar a un producto mecatrónico terminado. (Vargas, 2005) muestra la organización de actividades asociadas a la realización de proyectos bajo un enfoque de integración de tecnologías, así como los requerimientos y resultados más significativos de sistemas mecatrónicos generados para diversas aplicaciones. En (Galvis, 2020) se hace referencia a la metodología ciclo Deming PHVA (planear, verificar, hacer, actuar), que resume las actividades que deben realizarse en el desarrollo de un proyecto y junto con el método científico, además de que se especifica si la investigación es experimental o no, lo cual permite delimitar los alcances del proyecto.

Por otro lado en (Tomiya et al., 2009) se describen metodologías que hasta 2009 se han utilizado en la industria y en instituciones educativas, mostrando que las más útiles en la práctica son las basadas en métodos matemáticos, las que se utilizan para lograr objetivos concretos y las metodologías de proceso. Con base en las metodologías para lograr objetivos concretos, en este capítulo se presentan 12 actividades específicas para desarrollar un prototipo de esta área, indicando las herramientas que se pueden utilizar para cumplir con las metas que deben plantearse en cada fase, con el objetivo de ser más didácticas y accesibles para los alumnos, también se espera que puedan definir un plan de trabajo incluyendo todas las fases del diseño de una forma autónoma y realizando las correcciones u optimización de las tareas que sea necesario.

Para esto, se presenta en la sección 2 una revisión del estado del arte de autores que han desarrollado metodologías en el diseño mecatrónico y de quienes se han tomado puntos importantes para plantear actividades generales para diseño y construcción de un prototipo, en la sección 3 se presenta una descripción del prototipo virtual, así como de los puntos que permiten transformar los resultados simulados de este a un prototipo físico. En la sección 4 se indican las 12 actividades básicas para lograr el diseño y construcción de un prototipo. En la sección 5 se presentan los casos de aplicación, que básicamente se dividen en 3 temas identificados como robótica de rehabilitación, robots móviles y manipuladores y máquinas varias. Por último, en la sección 6 se presenta un análisis indicando los resultados de aplicar esta serie de actividades a 36 prototipos escolares a nivel ingeniería de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

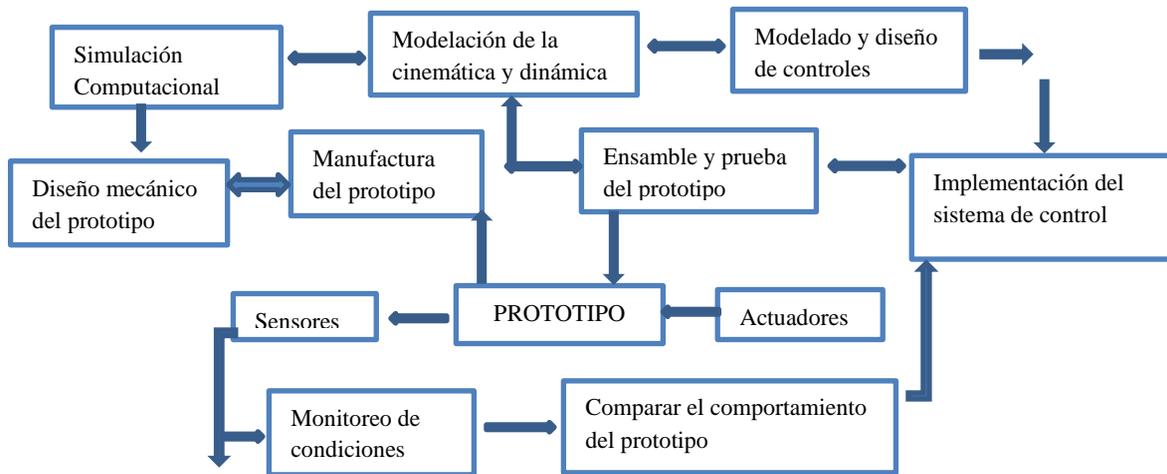
2.1 Antecedentes

La metodología de (Ullman, 1994) fue escrita para diseño mecánico, pero resalta las primeras fases del diseño de producto, iniciando por la detección de la problemática, el diseño conceptual, el desarrollo del producto y el soporte del mismo; esta sirvió de fundamento para las metodologías del diseño mecatrónico que se enlistan a continuación. De las primeras metodologías específicas para sistemas mecatrónicos, está la expuesta por (Cross, 2005), quien resalta el uso del diseño aplicado en ingeniería y en productos en general, se basa principalmente en el diseño conceptual y físico, además presenta los 35 Métodos del diseño de Jones. Posteriormente (Pahl, G. et al, 2006), agregan al diseño conceptual, también la construcción, el diseño para la calidad y para tener el mínimo de costos. (Tomiyama et al., 2009), como se muestra en la Tabla 2.1, hace un análisis y exposición de las metodologías que se han utilizado en el diseño mecatrónico, dividiéndolas en abstractas y concretas, indicando que las metodologías de objetivos concretos y tecnologías de procesos son la más utilizadas, así como los métodos matemáticos y los de dibujos. Otro autor importante en esta área es (Ulrich & Eppinger, 2013) con su libro “Diseño y desarrollo de productos”, uno de los más utilizados para impartir asignaturas que involucren diseño en ingeniería. (Gorrostieta et al., 2015) presentan una síntesis de la metodología que resume las actividades más utilizadas por varios autores para realizar el diseño y la construcción de un prototipo, como se muestra en la Figura 2.1, en su trabajo expone los resultados de implementar sus metodologías durante 15 años en universidades públicas y privadas. Algunos ejemplos de aplicación son expuestos por (Acevedo et al., 2017) y (Blanco Ortega et al., 2018) cuyos trabajos tienen en común el uso de la ingeniería concurrente como se explica en (Macas, 2017) y tiene como objetivo el diseño y desarrollo simultáneo de productos y procesos.

Tabla 2.1 Metodologías abstractas y concretas para diseño mecatrónico

	General	Individual
Abstracto	Teoría del diseño (GDT, UDT)	Métodos basados en matemáticas (optimización, diseño axiomático, método Taguchi). Programas computacionales
Concreto	Metodologías del diseño (Diseño adaptable, Modelo características-Propiedades de Weber, Modelo contacto y cambio de Albers, Síntesis emergente, Hansen, Hubka & Eder, Desarrollo de productos integrados de Andreasen, Koller, Muller, Pahl y Beitz, Roth, Ullman, Ulrich y Eppinger). Metodología para lograr metas concretas (Diseño axiomático, diseño para X, metodología para toma de decisiones, DSM, FMA, Diseño total de Pugh, TRIZ, QFD (Quality Function Deployment-despliegue de la Función de Calidad)). Metodologías de procesos (Ingeniería concurrente, DSM)	Métodos de diseño

Fuente de Consulta: (Tomiyama et al., 2009)

Figura 2.1 Diseño mecatrónico

Fuente de Consulta: (Gorrostieta et al., 2015)

2.2 Implementación de las metodologías de diseño

El diseño mecatrónico se puede simplificar en tres fases: modelado, simulación, prototipado y construcción (Shetty & Kolk, 2011). El modelado puede plantearse con ecuaciones básicas o en física detallada. Las simulaciones permiten determinar el comportamiento de las variables, las constantes, las entradas y las salidas del sistema (Pérez-Rodríguez et al., 2018), además de tener una mejor comprensión del comportamiento dinámico y las interacciones de los componentes (Shetty D. et al., 2012). El prototipado y la construcción, permiten desarrollar máquinas, en donde los sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales convergen.

El prototipado permite hacer ajustes o rediseños para cumplir con los requerimientos del cliente y la construcción, permite obtener el producto final, teniendo que validarse con base en pruebas y los requerimientos solicitados. El prototipado virtual es la integración de diseño asistido por computadora, programación de software embebido y software de simulación para visualizar, en este caso, un dispositivo mecatrónico inteligente en una computadora (McHugh & Zhang, 2008).

En las fases del desarrollo de prototipos, tales como diseño conceptual, preliminar o detallado, el uso de prototipos virtuales permite realizar una revisión constante de los avances del proyecto y del cumplimiento de los requerimientos. Las fase de creación de los prototipos virtuales y físicos, según la investigación de (Ulrich & Eppinger, 2013) y (Kim, 2019) son:

- Representación del modelo digital.
- Nivel de generación
- Nivel de operación (Fabricación digital)
- Nivel de interacción utilizando por ejemplo realidad virtual o realidad aumentada.
- Representación física del modelo
- Manufactura
- Ensamble
- Operación

Respecto a la parte de construcción del prototipo físico, es importante tener previamente el diseño para la manufactura así como para el proceso de ensamble (Bayoumi, 2000) y el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFE), (Stamatis, 2003). Respecto a las pruebas de operación, estas deben ser definidas con los requerimientos de usuario, ya que deben cumplir con movimientos, trayectorias, secuencias o actividades específicas y deben funcionar mecánicamente y con la implementación de algún sistema de control, ya sea de lazo abierto o con retroalimentación de información, para así cumplir con los elementos de un diseño mecatrónico.

Por las características de los prototipos presentados en este trabajo, se utilizan las metodologías para lograr objetivos concretos y con base en los trabajos expuestos por (Tomiyama et al., 2009), (Gorrostieta et al., 2015), (Acevedo Londoño et al., 2017) y (Blanco Ortega et al., 2018), se generaron una serie de actividades para obtener prototipos físicos pasando previamente por los virtuales para verificar y validar la funcionalidad de los sistemas.

1. *Identificar el problema o la necesidad y definir las especificaciones de ingeniería que debe tener el producto:* Se emplean las metodologías para obtener metas concretas (Tomiyama et al., 2009). En esta fase también se hace la investigación de antecedentes, alcances, definición de restricciones y limitantes, además de la programación de actividades, utilizando cronogramas de tiempo (herramienta Gantt), para programar todas las actividades.
2. *Generación de conceptos:* Se realizan dibujos a mano alzada y lluvia de ideas. Posteriormente se plantean modelos matemáticos o diagramas a bloques para obtener una función que muestre el comportamiento del sistema siendo una representación del sistema mecánico, electrónico o de control y de su interacción con el entorno.
3. *Diseño preliminar:* Algunos programas que se utilizan para presentar el concepto de diseño preliminar son: diseño asistido por computadora (Computer Aided Design), CATIA (computer-aided three-dimensional interactive application), Pro/ENGINEER –PTC, SOLIDWORKS®, AutoCAD®, entre otros (Blanco et al., 2019).
4. *Simulaciones con el uso de un prototipo virtual:* Para validar el modelo matemático, así como para comprobar que el prototipo virtual mecánico cumple con los requerimientos establecidos. Se pueden utilizar herramientas computacionales como ingeniería asistida por computadora (MSC ADAMS®, ANSYS®, ALTAIR®, COMSOL®, DYMOLA®, MODELICA®, NASTRAN®, LMS Virtual.Lab, SimMechanics o Universal Mechanism) y manufactura asistida por computadora (Mastercam, CAMWorks, BobCAM o Edgcam) (Blanco et al., 2019).
5. *Determinar los componentes mecánicos y electromecánicos:* En esta fase se determinan los componentes necesarios para construir el prototipo, así como la selección del material de construcción. Toda la selección de componentes y de materiales se hace a través de cálculos, programas de simulación y catálogos de proveedores. Como se menciona, solo son prototipos y no se utilizan materiales para un uso industrial o aplicación práctica, en la mayoría de los casos se utiliza la impresión 3D (ABS y PLA), acrílico, aluminio, madera, Nylamid, fibra de carbono o fibra de vidrio.
6. *Determinar los componentes electrónicos:* De los elementos importantes en los prototipos se encuentran las tarjetas de control, ya que son “el cerebro” del sistema. Algunas tarjetas muy utilizadas entre los estudiantes son Arduino (con todas sus variantes), Raspberry, PIC’s o ATMega por mencionar algunas. También deben seleccionarse los sensores, procesadores, transductores e interfaces de comunicación que permitirán tener un sistema semiautomático o automático.
7. *Realizar la construcción del prototipo:* En esta parte se realiza la construcción del prototipo considerando el maquinado, la impresión 3D o las actividades que se hicieron previamente en el diseño para manufactura y ensamble.
8. *Programación del sistema de control:* Las técnicas involucradas para generar la autonomía, en el sistema pueden ser: Lógica difusa, redes neuronales y algoritmos genéticos (técnicas conocidas como inteligencia computacional). Asimismo, la teoría de sistemas no lineales y caos, procesamiento de imágenes, robótica, micro y nanotecnología, dispositivos mecatrónicos e ingeniería de software.

9. *Determinar el nivel de contacto entre usuario y robot:* En varios casos se requiere de una interfaz hombre-máquina, esta puede hacerse con programas computacionales como LabVIEW™, Visual C++, Java, Python o MATLAB® o también utilizando pantallas electrónicas, controles físicos y botones.
10. *Evaluación entre lo simulado y lo calculado:* Se debe hacer una comparación entre los cálculos y el sistema simulado para garantizar que se han utilizado los parámetros adecuados, así como para hacer la optimización y/o modificaciones que se requieran. Esta fase puede realizarse en cualquier etapa del diseño y para cualquiera de las áreas involucradas ya sea la mecánica, eléctrica, electrónica o de control.
11. *Validar la funcionalidad del sistema o máquina:* En este caso se hace uso de las simulaciones también para validar el comportamiento del prototipo. Se valida el diseño y funcionalidad entre el prototipo virtual y el físico, evaluando las estrategias de control, los movimientos que debe realizar o el cumplimiento de los requerimientos.
12. *Reportar resultados:* Generalmente se presenta una memoria técnica, manual de funcionamiento y manual de mantenimiento.

2.3 Diseño y construcción de prototipos mecatrónicos

La metodología de diseño mecatrónico se implementó para el desarrollo y evaluación en las asignaturas Proyecto Integrador y Seminario de Investigación que se cursa en el 9° semestre de la Ingeniería en Mecatrónica en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Se realizaron 36 prototipos, los cuales tuvieron como requerimientos obligatorios generar un prototipo físico que involucrara un sistema mecánico, electrónico, de control e interfaz hombre-máquina, así como el prototipo virtual. Para la evaluación escolar, se solicitó un trabajo escrito que incluía un cronograma de actividades, la memoria de cálculos y los planos de diseño, un poster que se utilizó en una exposición local, un manual de funcionamiento y un manual de mantenimiento. Se trabajó con tres categorías propuestas por los estudiantes: robots de rehabilitación, robots móviles y manipuladores y máquinas varias. Para efectos demostrativos, en este capítulo se presentan 6 proyectos, donde en el primer caso de estudio se desarrollan cada uno de los 12 puntos antes referidos y para simplificar la presentación del resto de los proyectos, se muestra la definición del problema indicando la problemática, el objetivo general, la descripción del diseño y la presentación de resultados.

2.4 Robótica de rehabilitación

Los rehabilitadores mecatrónicos, son dispositivos que buscan mejorar la recuperación de un paciente después de haber sufrido algún tipo de enfermedad o lesión en alguna parte de su cuerpo. Un dispositivo mecatrónico aplicado a la rehabilitación, básicamente se enfoca en servir como apoyo al fisioterapeuta en el proceso de recuperación del paciente (Guzmán Valdivia et al., 2013). Para desarrollar sistemas de rehabilitación robótica, se requiere considerar la adaptabilidad al usuario final, el consumo energético y la aceptabilidad de la tecnología por terapeutas e instituciones especializadas en rehabilitación (Acevedo Londoño et al., 2017). Con base en este tema se presentan dos prototipos: rehabilitador de rodilla y rehabilitador de hombro.

2.5 Rehabilitador de rodilla

Se requiere el diseño de un robot de rehabilitación de rodilla postoperatorio de movimiento continuo-pasivo. La fase inicial del proyecto fue expuesta por el estudiante (Sosa-Lopez et al., 2017). Para obtener los requisitos de diseño y definir la problemática, se realizaron encuestas a los usuarios potenciales y a expertos en el tema, posteriormente esta información se completó utilizando una revisión de estado del arte. Así mismo, se utilizaron las metodologías del QFD (Figura 1.2) y PDS para obtener los requerimientos necesarios e importantes del sistema. El objetivo general es presentar una herramienta funcional a nivel mecánico-eléctrico-informático y de control para dar una alternativa tanto para los médicos, como para los pacientes de manera tal, que el diagnóstico y la rehabilitación sean justificadas por gráficas obtenidas de los esfuerzos ejercidos por el prototipo en funcionamiento. Con base en el resultado de las herramientas QFD (Despliegue de Funciones de Calidad) y PDS (Especificaciones del diseño de Producto), se definieron 10 requisitos como base del diseño del prototipo.

La primera fase consistió en hacer el diseño del prototipo en un programa CAD y posteriormente simularlo para verificar el cumplimiento de la fase mecánica.

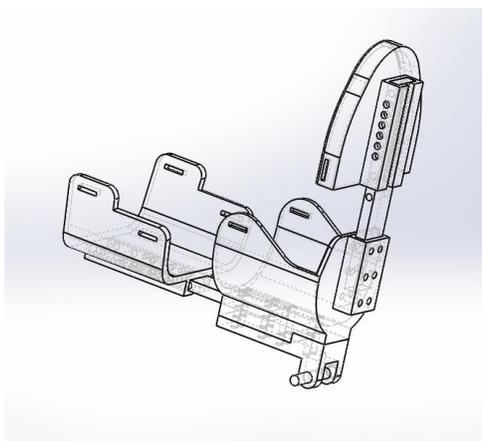
En la Figura 2.3 se muestran a) el diseño preliminar de una parte del rehabilitador realizado en un programa CAD con el cual se validó el cálculo del par de los motores seleccionados y b) la primera simulación para verificar que se cumpla con los movimientos necesarios implementando un sistema de control, primero de lazo abierto y luego un sistema PID (Proporcional-integral-derivativo), este se simuló en el programa ADAMSView™. Con el análisis de materiales, se determinó que se requiere Acero AISI1020 y Nylamid para la construcción, aunque también se necesita imprimir piezas en 3D en material PLA y adquirir elementos mecánicos como rodamientos, tornillos y tuercas. El proceso de manufactura de la parte mecánica para el rehabilitador de rodilla consistió en maquinar los bloques, soldar los elementos de la mesa de soporte y dar las medidas a los ejes del prototipo. Las máquinas básicas para manufactura fueron el torno fresador y la impresora 3D. La mayoría de los componentes se seleccionaron para ser de medidas y valores estándar, con el objetivo de ser adquiridos fácilmente en tiendas comerciales.

Figura 2.2 Casa de la calidad o QFD para el rehabilitador de rodilla

Requerimientos de Calidad		Diseño e implementación del sistema de control de un robot de rehabilitación y diagnóstico de rodilla postoperatorio de movimiento continuo pasivo.										
		Obligatorio	Deseable	Importancia	No. motores	Máximo peso	Distintas terapias	Fuerzas externa	Mantenimiento	Actividades ext	Factores físicos químicos.	Velocidades
Desempeño funcional	Etapa de control	Motores de alta calidad.		X	4	*	*	*	*			*
		Un solo motor por articulación.		X	3	*	*	*	*			*
		Eficiencia en la tarjeta de control de motores	X		4	*		*				*
		Programación de más de 4 secuencias distintas		X	2	*		*	*			*
		Movimientos suaves	X		5	*		*	*		*	*
		Estiramiento completo de la estructura		X	3	*	*	*	*	*		*
	Etapa de diagnóstico	Diagnóstico por base de datos		X	2			*		*		
		Interfaz amigable con el usuario	X		5					*		
		Identificación de pacientes		X	3					*		
		Generación de reportes		X	3	*				*		
		Apariencia agradable	X		3				*	*		
		Comodidad	X		5			*	*			

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

Figura 2.3 Simulaciones del rehabilitador de rodilla



(a) Diseño preliminar de la bota



(b) Simulaciones de un prototipo virtual

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

La selección de los motores y componentes se realizó a partir del cálculo matemático del par de estos, posteriormente se realizó la simulación con Matlab y por último se realizaron pruebas físicas, mostrando que la selección fue óptima para el prototipo.

Respecto a la parte electrónica se requieren 2 motores, una fuente de alimentación y una tarjeta de control (en este caso un Arduino Mega debido a que éste permite la comunicación directa con el software HMI). La comunicación y el diseño de la interfaz se crearon con el Software LabVIEW™, por ser muy gráfico, sencillo de utilizar y de realizar alguna modificación si se requiere. La descripción de la interfaz se hace con base en el modelo comercializado por Cyberx®.

Los programas que se utilizaron para cubrir la programación y simulación del proyecto virtual se muestran en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2 Programas computacionales para uso del prototipo virtual

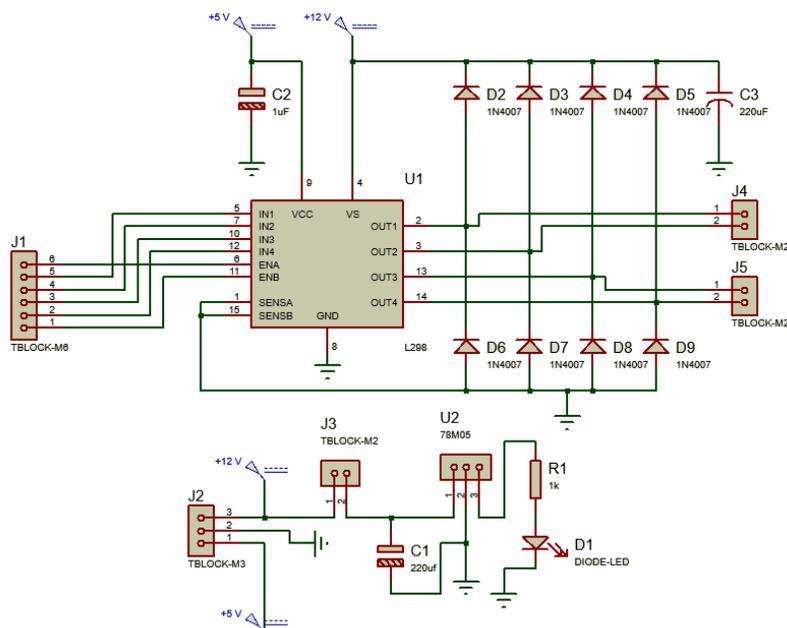
Programa	Aplicación
SOLIDWORKS®	Simulación mecánica para obtener el par de los motores, simulación de movimientos, simulación de resistencia de materiales
ADAMS View™	Simulación dinámica del mecanismo
MatLab®	Generación de control difuso para los motores
LabVIEW™	Interfaz HMI para que el fisioterapeuta pueda manipular velocidades y posiciones que se requieran para la terapia
Proteus	Simulación electrónica de los componentes de potencia y control

Fuente de Consulta: Elaboración propia

La implementación del control PID en el sistema, proporciona estabilidad en la posición que debe generar el motor. El uso de la tarjeta de control ATmega®, facilitó la programación por las librerías especialmente diseñadas al control de motores. El uso de motores con Driver incluidos, como los encoders (sensores de posición y velocidad), facilita la manipulación de las señales lógicas debido a que solo se debe enviar un pulso para realizar los cambios de giros (Figura 2.4).

El prototipo concluido se muestra en la Figura 2.5 y fue realizado por la alumna Cuevas Vázquez C. N. Se entregó un trabajo escrito que reúne como puntos principales el diseño conceptual, diseño preliminar, y diseño detallado, incluyendo los diagramas eléctricos, electrónicos, dibujos técnicos, manual de funcionamiento y manual de mantenimiento. Los cálculos y detalles más específicos del prototipo se encuentran en (Cuevas-Vázquez et al., 2019).

Figura 2.4 Diagrama electrónico para el control de motores



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 2.5 Prototipo físico final



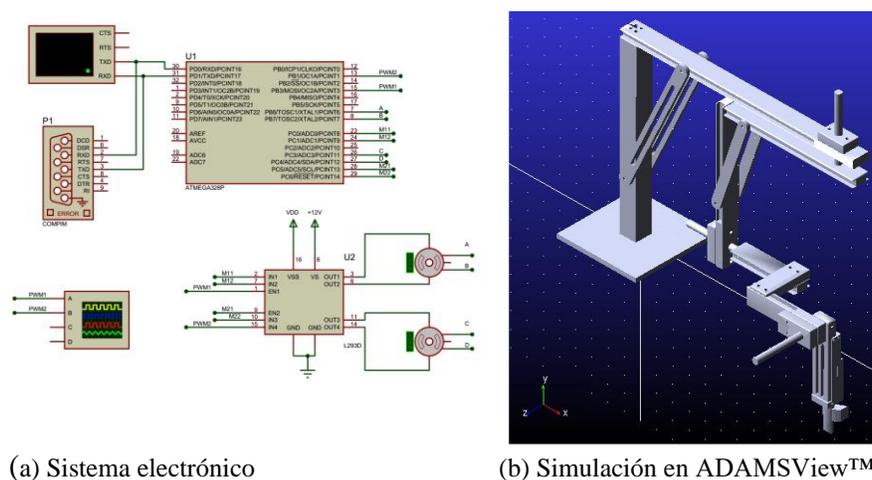
Fuente de Consulta: Elaboración propia

2.6 Rehabilitador de hombro

Propuesta: El diseño principal es derivado de la tesis de maestría de la alumna Deira Sosa Méndez y su artículo (Sosa-Mendez et al., 2017). El trabajo fue retomado por las alumnas Galeote López J. C., Garnica Méndez S. y Ramírez López K., quienes propusieron como metas realizar el rediseño del exoesqueleto rehabilitador de hombro que se tiene en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, para quitar material ya que el cliente solicitó que sea más ligero para automatizarlo y fácil de transportar. Ellas proponen hacer un prototipo a escala del exoesqueleto rehabilitador de hombro, para diseñar un sistema de transmisión de potencia mecánica, así como realizar el control de motores para generar los movimientos necesarios e implementar un control de velocidad y posición de los eslabones y al validar sus cálculos y diseño, escalarlo a las dimensiones del prototipo real.

Resultados: Se realizó un análisis de esfuerzos al material original de aluminio para saber cuánto se le puede retirar al prototipo que ya está construido, y también para hacer la selección real de motores y de la transmisión; pero también se hizo el prototipo a escala y se construyó de madera, para hacer pruebas de funcionamiento con la transmisión diseñada. Se implementó un sistema de control PID y se realizó una interfaz en LabVIEW™ para manipular las acciones que debe seguir el prototipo mecánico, simulando los movimientos en una terapia de rehabilitación de brazo. En la Figura 2.6 se muestra a) el sistema electrónico b) la simulación del dispositivo en ADAMSView™ para validar los movimientos aplicando una co-simulación con el programa MATLAB® para implementar el sistema de control. En la Figura 2.7 se presenta el prototipo final físico. Es importante mencionar que actualmente una de las alumnas antes referidas sigue trabajando en el prototipo real en su proyecto de Tesis de licenciatura.

Figura 2.6 Simulación y validación del sistema de control aplicado al prototipo



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 2.7 Prototipo final de rehabilitador para hombro



Fuente de Consulta: Elaboración propia

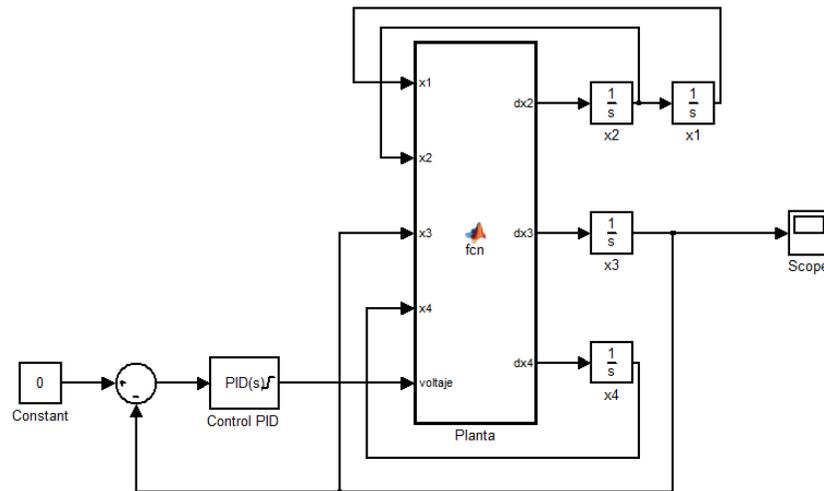
2.7 Robótica Móvil y manipuladores

Un robot móvil es un vehículo de propulsión autónoma y movimiento programado por medio de control automático para realizar una tarea específica y se clasifican en guiados y no guiados. El vehículo guiado está restringido a un conjunto de trayectorias predefinidas en su área de trabajo y los no-guiados pertenecen a los robots submarinos, los del espacio aéreo y/o espacial y los terrestres. Los robots terrestres han sido clasificados por su sistema de movimiento en robot con ruedas, con patas o con rieles (Ponce De León et al., 2014).

2.8 Vehículo péndulo

Problema: Se requiere de un vehículo que pueda transportar objetos de 5kg aproximadamente, para agilizar el traslado de un paquete en lugares en que es difícil desplazarse. Se propone desarrollar un prototipo de base móvil tipo carro péndulo invertido e implementar control para volver estable el sistema durante su desplazamiento. Se requieren los modelos dinámicos y cinemáticos de sistema, así como la simulación de los controladores y la planta. Como característica principal se desea que el sistema sea autónomo.

Resultados: El prototipo resultante es una base de forma hexagonal, controlado remotamente a través de una aplicación para celular conectada vía Bluetooth, para realizar desplazamientos hacia adelante, atrás, giros horarios y antihorarios. Básicamente, la planta es el típico sistema carro péndulo invertido, donde, el hexágono que se desplaza es el carro y la carga funge como péndulo; ya que el sistema solo cuenta con neumáticos laterales para su movimiento, la misma carga es utilizada para estabilizar el sistema. Fue desarrollado por los alumnos Antonio Bautista J. A., Martínez Antonio A. y Villalobos Álvarez E. F. En la Figura 1.8 se presenta un ejemplo del sistema de control utilizado, realizado en el programa Simulink de MATLAB. Cabe mencionar que este proyecto también sirvió para ser evaluado en la asignatura de control automático, por lo que llevó un desarrollo muy meticuloso para culminar esta tarea y los alumnos junto con su profesor se encuentran preparando un artículo para congreso y mostrar los resultados que se generaron. En la Figura 1.9 se muestra el prototipo final a) con las pesas para demostrar cuanto peso soporta y b) una base para competencias de minisumo, mostrando otro tipo de terreno en que puede moverse sin presentar problemas de fricción.

Figura 2.8 Sistema de control del vehículo péndulo

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 2.9 Presentación del prototipo final vehículo péndulo

(a) Peso soportado por el vehículo 5Kg



(b) Terreno distinto de prueba

Fuente de Consulta: Elaboración propia

2.9 Hexápodo

Problema: Construir el prototipo de un robot para la búsqueda de personas después de un sismo, considerando el uso de un sistema de locomoción hexápoda que permitirá el desplazamiento en terrenos abruptos e irregulares en menor tiempo comparado con otros sistemas de locomoción.

Resultados: Para obtener los requerimientos, los alumnos realizaron una entrevista al grupo “Topos Azteca”, la cual fue transmitida en (Agencia Quadratín, 2018), donde los alumnos Álvarez Nájera I., Colmenares Limeta E. H., Núñez Díaz A. A. y Salinas Vargas I. J., presentaron su diseño conceptual a dicho grupo de rescate y realizaron las recomendaciones que les dieron los rescatistas. Por otro lado, respecto al diseño, se realizaron pruebas de funcionamiento a través del software ADAMSVIEW™, para demostrar que el movimiento del robot es posible, aunque sin cumplir aun la parte de ser reconfigurable como se había sugerido en uno de los requerimientos. El material utilizado para el prototipo mecánico fue impresión en 3D, así como lamina delgada. Se utilizaron 3 motores para manipular cada una de las extremidades, y un sistema de control de lazo abierto para las primeras pruebas, que posteriormente se cambió a un control PID para manipular los motores. Para controlar los movimientos del hexápodo se realizó una interfaz básica junto con una tarjeta Raspberry Pi y el controlador mini-maestro. En la Figura 2.10, se muestra la figura en CAD de una de las extremidades, así como b) una prueba realizada en el programa ADAMSVIEW™. En la figura 2.11 se presenta el prototipo físico.

Figura 2.10 Diseño del robot hexápodo y simulación



(a) Piezas preliminares de una extremidad

(b) Simulación en ADAMSView™

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 2.11 Presentación del prototipo final de Hexápodo



Fuente de Consulta: Elaboración propia

2.10 Máquinas diversas

Se realizaron algunas máquinas que surgieron como necesidad de las zonas rurales en las que algunos de los alumnos son originarios. Uno de los objetivos de la materia fue buscar resolver una problemática real, con usuarios con necesidades bien definidas. A continuación, se presentan dos propuestas.

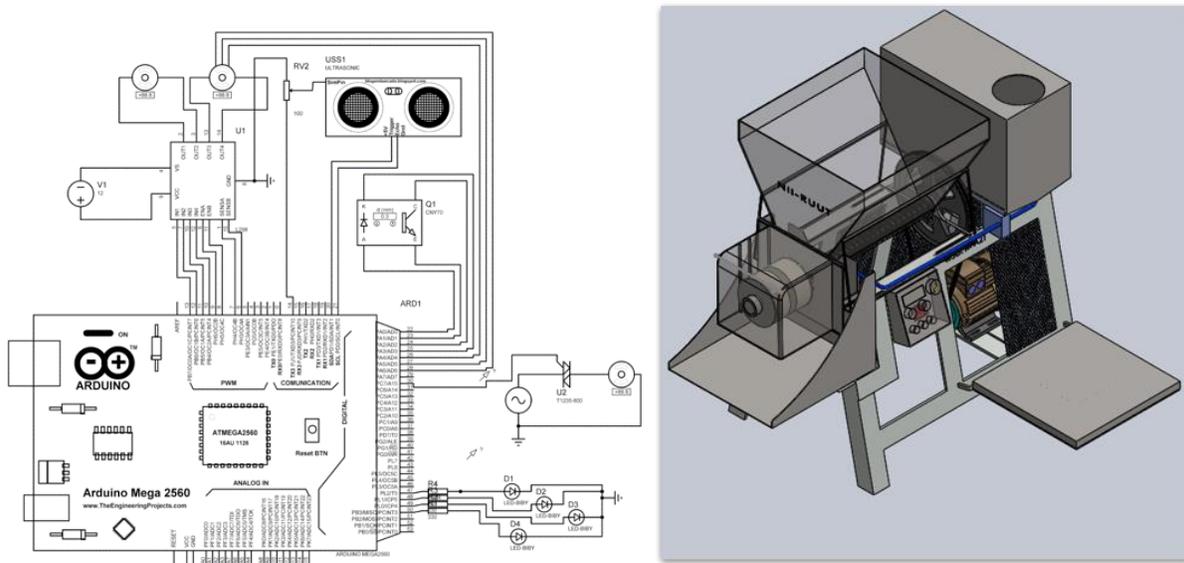
2.11 Máquina moladora de maíz para nixtamal

Problema: Se considera que el principal problema que tienen los operadores de molino de nixtamal es el proceso que se sigue, ya que la deficiencia del propio molino (llenado de la tolva, succión del nixtamal a las muelas, ajuste de la abertura de las muelas, ajuste del flujo de agua y recolección de la masa) obligan al operador a ser parte fundamental de todos estos procesos, ya que se deben maniobrar de forma manual durante el funcionamiento de la máquina, arriesgando y deteriorando las extremidades (dedos, brazos incluso el cabello) y la salud del operador.

El objetivo por lo tanto es desarrollar un molino de nixtamal semiautomático para reducir la interacción física del usuario con la máquina. Esta debe ser para una pequeña producción, fácil de transportar y de utilizar.

Resultados: Se obtuvo una máquina con capacidad de carga de más de 70 kg. La prueba de funcionamiento para el módulo de potencia se hizo conectando el motor AC a la fuente de alimentación de 120 volts, se vio que el motor está sujeto firmemente a la base y que movió sin inconveniente el eje del molino. En este se ajustan automáticamente las muelas, se controla el flujo y nivel de agua, y el usuario solo tiene que presionar el botón de arranque si se habla del proceso manual para iniciar el funcionamiento de la máquina. Los alumnos participantes fueron Hernández Luis R., Mejía Antonio J. L. y Melchor Cruz J. A. En la Figura 2.12 se presenta a) el circuito eléctrico básico del sistema y en b) el diseño en CAD del prototipo final. En la Figura 2.13 se muestra el prototipo físico final del molino de nixtamal.

Figura 2.12 Sistema eléctrico del molino para nixtamal



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 2.13 Prototipo físico del molino de nixtamal



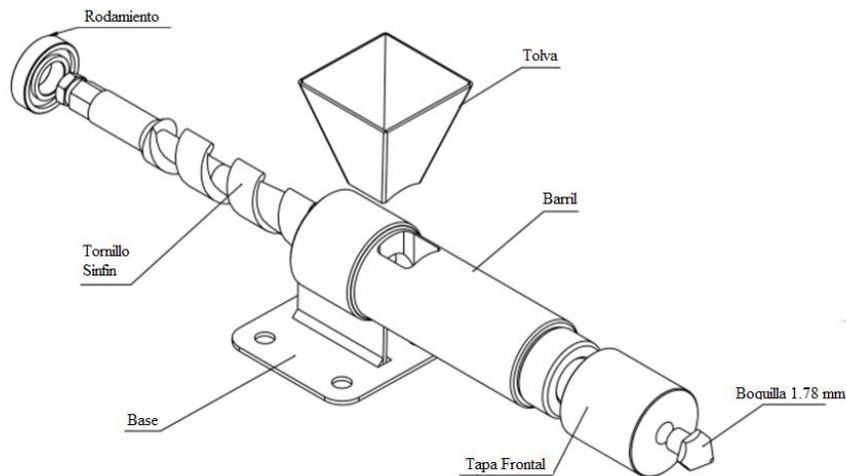
Fuente de Consulta: Elaboración propia

2.12 Máquina extrusora de pet

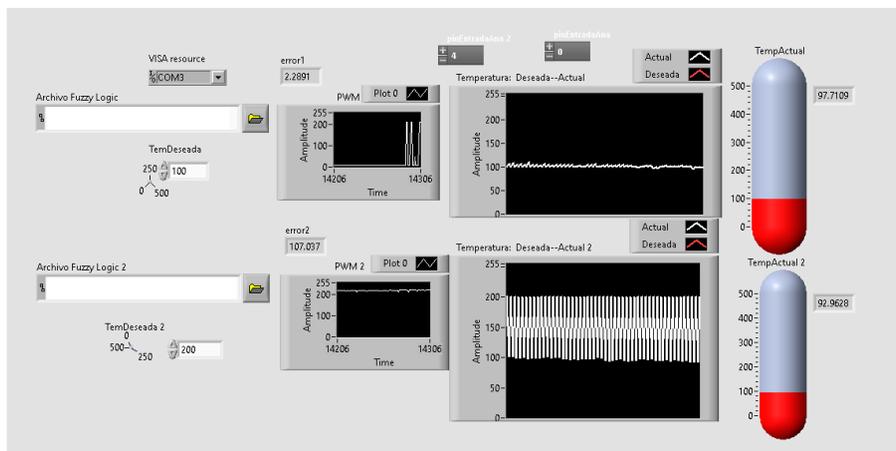
Problema: Transformar los residuos de PET triturado en filamento para impresoras 3D. Se propone un método de calentamiento por inducción para reducir el tiempo de trabajo de la extrusora. Actualmente se utilizan resistencias eléctricas para este propósito.

Resultados: Se obtuvo un prototipo con 10 piezas mecánicas, hechas de aluminio y lámina. Se utilizó como calentador una bobina inductora, un circuito Mazzilli y uno flyback, relevadores y para el sistema de control una tarjeta Arduino. El sistema de control fue realizado por lógica difusa tipo Mamdani. La interfaz se realizó en LabVIEW™. Como resultados de las pruebas que se realizaron se tiene que el tiempo para llegar a la temperatura deseada es de un minuto y cuarenta segundos, mucho menor que el de una extrusora pequeña comercial como Filastruder, la cual tarda 10 minutos. Si se desarrolla un sistema de alimentación eficiente se puede acortar el tiempo de calentamiento muchísimo más, hasta los 30 segundos sin ningún problema, pero el sistema de sensores debe tener una respuesta más rápida para que el control funcione. Los alumnos participantes son Hernández García S., Ochoa Ruiz J. J. y Zárate Jiménez F. G. En la figura 2.14 se muestra a) el dibujo preliminar de la maquina extrusora realizada en un programa CAD y en b) se muestra la interfaz realizada en LabVIEW™. En la figura 2.15 se muestra el prototipo físico final.

Figura 2.14 Diseño preliminar e interfaz del prototipo virtual



(a) Diseño preliminar



(b) Interfaz realizada en LabVIEW™

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 2.15 Prototipo físico de extrusora de PET

Fuente de Consulta: Elaboración propia

2.13 Análisis de resultados

Como se mencionó se desarrollaron 36 prototipos, los cuales se dividieron en las siguientes categorías (Tabla 2.3):

Tabla 2.3 Categorías de prototipos

Categoría	Cantidad
Rehabilitación física	7
Robótica móvil y manipuladores	16
Máquinas varias	13

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Cabe mencionar que estos prototipos se realizaron en dos generaciones, la primera contando con dos grupos, uno de 26 hombres y 6 mujeres, el segundo de 22 hombres y 6 mujeres, en la segunda generación 1 mujer y 31 hombres. En la primera generación fueron 22 prototipos y en la segunda 14, en ambas generaciones los equipos fueron de tres, dos y una persona. De los 36 prototipos presentados, los 22 realizados en la primera generación tuvieron resultados favorables en los prototipos virtuales, realizaron mejores simulaciones y más complejas, pero respecto a la parte física, funcionaron solo un 70% de los prototipos presentados y se cree que fue una mala planeación en la adquisición de componentes y realización de pruebas, ya que por estar ubicados en una comunidad cuya principal actividad es el comercio alimenticio y no el tecnológico, los componentes tienen que pedirse a otros lugares o países con un mayor tiempo de anticipación.

En la segunda generación se obtuvieron 14 prototipos, de los cuales funcionaron en su totalidad con la parte práctica, esto se presupone que fue debido a una mejor planeación de sus proyectos, también se enfatizó sobre hacer una adquisición previa de componentes, y la parte mecánica fue en su mayoría con impresión 3D, ya que en su mayoría fueron proyectos de robots móviles.

Se realizó la siguiente evaluación a cada uno de los prototipos (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Evaluación para cada uno de los prototipos

Descripción		Rubrica		
Dispositivo mecánico	Completo con movimientos físicos	Ensamblado, pero no se mueve todo como debería	Piezas fabricadas y/o ensamble con detalles	Solo piezas sin ensamblar faltan piezas en ensamble
Cantidad	30	6		
Sistema eléctrico	Funcionando en tarjeta PCB	Funcionado en protoboard	Circuito ensamblado	Solo diseño
Cantidad	27	5	4	
Sistema de control	Implementado (grado de dificultad)	Programado	Diseñado	Diagramas e información básica
Cantidad	15	13	5	3
Interfaz	Implementado	Programado	Diseñado	Diagramas e información básica
Cantidad	27	5		4
	Buena presentación	Contenido completo	Básico	Incompleto
Manual de funcionamiento	31		5	
Manual de mantenimiento	36			
Trabajo escrito	Completo	Falta último capítulo	Capítulos incompletos	Desordenado
Cantidad	26	3	4	3
Poster	36			

Fuente de Consulta: Elaboración propia

2.14 Conclusiones

Como se observó en los resultados, es posible obtener prototipos funcionales en un periodo escolar de 6 meses si se sigue una metodología con objetivos concretos. Esta serie de actividades se implementó con alumnos de licenciatura y se está trabajando con alumnos de posgrado, quienes deben obtener mejores resultados al dedicarse en mayor tiempo a la investigación y construcción de sus prototipos. Varios de los proyectos pueden mejorarse e incluso comercializarse o patentarse cambiando en algunos casos los materiales utilizados, ya que como se mencionó son prototipos escolares y el presupuesto es reducido en comparación de uno industrial. En el trabajo escrito también se hizo un análisis de costos, para que los alumnos verificaran que un prototipo no siempre es más accesible que uno ya existente y con eso demostrar que se debe diseñar pensando en hacer un producto funcional y no solo un dispositivo para vender.

2.15 Referencias

Acevedo Londoño, A. J., Caicedo Bravo, E., & Castillo García, J. F. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud. Redalyc.* 49(1), 103-114.

Agencia Quadratín. (2018, May 7). Desarrollan robot para el rescate de vidas. *Diario Marca La Historia de Oaxca*. Retrieved from <http://www.diariomarca.com.mx/2018/05/estudiantes-oaxaqueños-construyen-robot-para-el-rescate-de-vidas/>

Bayoumi, A. M. E. (2000). Design for manufacture and assembly (DFMA): concepts benefits and applications, current advances in mechanical design and production, 7th Cairo University International MDP Conference. Elsevier, 7, 501–509.

Blanco, A., Antúnez, E., Magadán, A., Santana, J. A., Alcocer, W. M., & Abúndez, A. (2019). Tema A5 Educación en Ingeniería Mecánica : Mecánica computacional “ Análisis y simulación dinámica de dos prototipos virtuales : sistema de elevador y robot paralelo .” *Memorias Del XXV Congreso Internacional Anual de La SOMIM*, 1–7.

- Blanco Ortega, A., Magadán Salazar, A., Gómez Becerra, F. A., Guzmán Valdivia, C. H., & Antúnez Leyva, E. (2018). Diseño de sistemas mecatrónicos: prototipos virtuales. *Pistas Educativas*, 40(January 2019), 1421–1439.
- Cross, N. (2005). *Métodos de Diseño: estrategias para el diseño de productos*. Limusa Wiley, 1-98.
- Cuevas-Vázquez, C. N., Lugo-González, E., Arias-Montiel, M., & Sosa-López, E. D. (2019). Desarrollo de un prototipo para rehabilitación de rodilla utilizando un robot paralelo 5R de 2 GDL. *XXI Congreso Mexicano de Robótica*, 306–311.
- Galvis, J. B. M. (2020). Desarrollo del sistema de control para el compresor Campbell Hausfeld de 40 HP del Sena-Astin. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ingeniería. Tesis de Ingeniería, 1-127.
- Gorrostieta, E., Rodríguez Resendiz, J., Vargas Soto, E., Zuñiga Aviles, L. A., & Tovar Arriaga, S. (2015). Mechatronics methodology: 15 years of experience *Metodología mecatrónica: 15 años de experiencia*. *Ingeniería e Investigación*, 35(3), 107–114.
- Guzmán Valdivia, C. H., Blanco Ortega, A., & Oliver Salazar., M. A. (2013). Entendiendo la Mecatrónica en la Rehabilitación. *CIINDET 2013 X Congreso Internacional Sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*. Cuernavaca Morelos, México, 688-693.
- Kim, D. Y. (2019). A design methodology using prototyping based on the digital-physical models in the architectural design process. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16), 1-23.
- Macas, E. M. (2017). Definición y Estado del Arte de la Ingeniería Concurrente La Manufactura Integrada por Computador y la Mecatrónica. *INNOVA Research Journal*, 2(10), 44–60.
- McHugh, R., & Zhang, H. (2008). Virtual Prototyping of Mechatronics for 21 st Century Engineering and Technology. *Proceedings of the 2008 ASEE Midwest Conference.*, 1-12.
- Pacheco Vélez, L. Y. (2020). Diseño de un equipo graduable para rehabilitación de mano post infarto cerebral mediante el uso de microcontroladores PIC. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Tesis de Ingeniería, 1-73.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & K.-H. Grote. (2006). Engineering design a Systematic Approach. In *Constructing the Future: nD Modelling*, 1(3), 14-39. <https://doi.org/10.4324/9780203967461>
- Pérez-Rodríguez, R., Molina, A., Miranda, J., Borja, V., & Wright, P. (2018). The requirements specification of mechatronic products based-on the Integrated product, process and manufacturing development model. *Ingeniería Mecánica*, 21(3), 145–152.
- Ponce De León, N. I., Aguilar López, C., Cruz Domínguez, G. V., & López Arauz, F. (2014). Instrumentación de un Robot Móvil para la Detección de Objetos. *SOMI XXIX Congreso de Instrumentación*, 1–9.
- Shetty, D., & Kolk, R. A. (2011). *Mechatronics system design (2nd ed.)*. ed. DELMAR. USA: Cenague Learning, 2(1), 1-504.
- Shetty, D., Manzione, L., & Ali, A. (2012). *Survey of Mechatronic Techniques in Modern Machine Design*. 2012, 1-9.
- Sosa-Lopez, E. D., Arias-Montiel, M., & Lugo-Gonzalez, E. (2017). A numerical approach for the inverse and forward kinematic analysis of 5R parallel manipulator. *2017 14th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, CCE 2017*, 1–6.
- Sosa-Mendez, D., Arias-Montiel, M., & Lugo-González, E. (2017). Diseño de un prototipo de exoesqueleto para rehabilitación del hombro. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. 38(1), 322–335.
- Stamatis, D. H. (2003). Failure Mode and Effect Analysis. *William A. tony*, 2(1), 5-13.

- Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C., & Kimura, F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(2), 543–565.
- Ullman, D. G. (1994). The mechanical design process. In *Mechanical Engineering Science*. New York: Mc. Graw Hills, 4(15), 1-450.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. Mac Graw-Hill, 5(1), 1-434.
- Vargas, J. (2005). Metodología en Proyectos Mecatrónicos Industriales. *Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial*, 1, 1–7.

Capítulo 3 Preferencia en la percepción visual de las tonalidades cromáticas del modelo HSB hacia los Eventos de Instrucción (EI): motivar, informar y atender

Chapter 3 Preference in visual perception of the chromatic tones of the HSB model to the Events of Instruction (EI): Motivate, inform and attend

TORRES-DE LEÓN, Gloria Azucena†*, BURGOS-VARGAS, Marcela, BARRALES-GUADARRAMA, Víctor Rogelio y SIERO-GONZÁLEZ, Luis Ramón

Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología.

ID 1^{er} Autor: *Gloria Azucena, Torres- De León* / **ORC ID:** 0000-0002-9983-2581, **CVU CONACYT ID:** 775244

ID 1^{er} Coautor: *Marcela, Burgos-Vargas* / **ORC ID:** 0000-0002-6099-5770, **CVU CONACYT ID:** 1062374

ID 2^{do} Coautor: *Víctor Rogelio, Barrales-Guadarrama* / **ORC ID:** 0000-0002-9530-0588, **CVU CONACYT ID:** 61285

ID 3^{er} Coautor: *Luis Ramón, Siero-González* / **ORC ID:** 0000-0002-4277-3058, **CVU CONACYT ID:** 169378

DOI: 10.35429/H.2020.5.40.60

G. Torres, M. Burgos, V. Barrales, L. Siero.

torres.gloria@uabc.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Es un estudio cuantitativo y cualitativo, cuyo objetivo es definir la preferencia en la percepción visual de las tonalidades cromáticas del modelo HSB hacia los eventos de instrucción (EI): activar la motivación, informar al alumno acerca del objetivo y orientar la atención. La muestra es sistemática de 260 estudiantes de educación superior de Ingeniería y Diseño. Los resultados demuestran que los estudiantes reconocen los tonos denominados comúnmente, pero tienen dificultades con nombres inusuales, el color denominado “rojo” fue reconocido 238 veces; identifican de manera muy aceptable las cuatro tonalidades cromáticas, claras, saturadas, agrisadas y oscurecidas; finalmente en los (EI), el número veces que seleccionaron el color rojo en la tonalidad intermedia, fue: en motivar 86; informar 94 y atención 102.

Percepción, color HSB, Eventos de instrucción (EI)

Abstract

Es un estudio cuantitativo y cualitativo, cuyo objetivo es definir la preferencia en la percepción visual de las tonalidades cromáticas del modelo HSB hacia los eventos de instrucción (EI): activar la motivación, informar al alumno acerca del objetivo y orientar la atención. La muestra es sistemática de 260 estudiantes de educación superior de Ingeniería y Diseño. Los resultados demuestran que los estudiantes reconocen los tonos denominados comúnmente, pero tienen dificultades con nombres inusuales, el color denominado “rojo” fue reconocido 238 veces; identifican de manera muy aceptable las cuatro tonalidades cromáticas, claras, saturadas, agrisadas y oscurecidas; finalmente en los (EI), el número veces que seleccionaron el color rojo en la tonalidad intermedia, fue: en motivar 86; informar 94 y atención 102.

Percepción, color HSB, Eventos de instrucción (EI)

3. Introducción

La formación académica demanda la búsqueda constante de consensos en cuanto a técnicas de enseñanza y aprendizaje, especialmente cuando la tendencia apunta a presentar recursos didácticos de forma digital. De manera que, es importante considerar que los recursos didácticos digitales tienen un impacto sensorial en los alumnos, que al no ser canalizado de acuerdo a sus necesidades de percepción visual pueden llegar a distorsionar la transmisión de la información didáctica y provocar en el alumno confusión o desinterés.

A esto Schiffman (2004) dice: “Nuestra percepción del mundo físico plantea problemas científicos importantes que demandan examen”. (p.4). Para este estudio una etapa de diagnóstico, por lo cual, se realizaron visitas a las aulas donde se imparte la asignatura Metodología de la Investigación, con el objetivo de evaluar durante la proyección de un recurso didáctico digital (presentación de diapositivas en power point), algunos aspectos de conducta y reacciones por parte de los estudiantes. Los aspectos a evaluar fueron el mantenimiento de la atención, la motivación, la actitud y la facilidad de comprensión. Algunos de los hallazgos fueron: al inicio de la clase se mantuvo la atención de los estudiantes, conforme avanzaba la clase esta se perdió paulatinamente en por lo menos la mitad del grupo; la participación de los estudiantes ocurría cuando el profesor hizo preguntas; estuvieron atentos, pero pasivos, entre otros muchos aspectos.

El resultado de dicho ejercicio de investigación demostró que las reacciones hacia las diapositivas pueden ser diversas en cada estudiante, evidentemente cada uno estaba expuesto a condiciones muy distintas, sin embargo, en lo que se coincide es en las características nada favorecedoras para el aprendizaje del uso de la letra, las imágenes y sobretodo el color. Se notó que el estímulo de estudio se ve magnificado en la mayoría de los estudiantes cuando se logra que los recursos didácticos digitales observen los elementos (tipografía, imagen y color) de comunicación visual utilizados adecuadamente, la reacción demostrada, en principio, es más agradable.

Es un hecho que actualmente, los recursos didácticos presentan una gran diversidad de criterios cromáticos, sólo algunos atienden la teoría del color o en el mejor de los casos la armonía cromática en su composición, en su mayoría el color se encuentra descartado como elemento comunicativo, sin considerar que la percepción visual del color puede ser una herramienta útil entre el estudiante y el docente.

Al saber que el color es un elemento de comunicación visual del cual se valen distintas áreas del diseño para provocar en su público sensaciones específicas para persuadirlos hacia donde se desea, y al partir de las afirmaciones de Goldstein (2011) de que la percepción son estímulos ambientales a los que se reaccionan y entendiendo que el color y sus tonalidades es un estímulo fundamental, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles tonos del círculo cromático del modelo HSB reconocen los estudiantes de educación superior?

¿Cuáles tonalidades cromáticas del modelo HSB seleccionan los estudiantes de educación superior para los eventos de instrucción motivar, informar y atender?

En este capítulo se describe el Marco Teórico acerca de aspectos de la percepción visual y las propiedades del Sistema HSB; el Método de investigación y el procedimiento de aplicación de los instrumentos de prueba de tonalidades cromáticas. Posteriormente, se presentan los resultados generales cuantitativos y las graficas correspondientes. Para finalizar las Conclusiones y Bibliografía.

3.1 El estudio del procesamiento perceptivo del color

A través de la historia se realizaron estudios que intentan describir el fenómeno de la percepción, los primeros antecedentes se remontan a la antigua Grecia; Aristóteles fue el primero en establecer que el conocimiento sobre el mundo exterior se obtenía a través de la experiencia que proporcionan los cinco sentidos.

Según Ware (2016), un grupo de psicólogos alemanes Max Westheimer, Kurt Koffka Wolfgang Kohler en 1912 inician lo que se conoce como la escuela de la Gestalt, quienes proporcionan una clara descripción de los conceptos básicos del fenómeno perceptual a través de una serie de leyes Gestalt o percepción de patrones. “Mantuvieron una distinción entre sensación y percepción, esta última producida sobre la base de la primera. La Gestalt como un todo en sí mismo, no basado en ningún objeto más elemental. En su opinión, la percepción no era el producto de sensaciones, sino que surgía a través de procesos físicos dinámicos en el cerebro.” Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M., & von der Heydt, R. (2012).

Goldstein (2011), expone que: “El proceso perceptual, es una secuencia de procesos que trabajan juntos para determinar el modo en que experimentamos los estímulos y como reaccionamos ante ellos”. (p.5).

Schiffman (2004) afirma que: “Percepción se refiere al producto de procesos psicológicos en los que están implicados el significado, las relaciones, el contexto, el juicio, la experiencia pasada y la memoria”. (p.2). Mientras que Forgas y Melamed (2010) explican: “A la percepción, el aprendizaje y el pensamiento se les ha conocido tradicionalmente como procesos cognoscitivos, ya que todos ellos remiten, hasta cierto punto al problema del conocimiento”. (p.11).

Por su parte y desde el esquema de la visualización de la información, Eppler, M. y Burkhard R. (2004) refieren que la visualización de la información y la visualización del conocimiento exploran las habilidades humanas de procesar las representaciones visuales, pero la vía de uso de estas habilidades es diferente en ambas disciplinas: en la primera, el conocimiento se deriva de nuevas percepciones a partir de la exploración de grandes volúmenes de datos expuestos de forma más accesible, que apoya una recuperación y acceso de la información más eficiente; en la segunda, la transferencia y la creación de conocimientos entre las personas se soporta en el conocimiento de medios que expresan lo que debe conocerse y comunicarse de manera intensiva entre las personas.

Con base en los aspectos anteriores, se puede decir que, durante la vida, un ser humano está expuesto a numerosos y diferentes tipos de estímulos los cuales varían a través de sus diferentes sentidos y cada individuo reacciona de diferente manera a ellos. En el sentido de la vista, el color es uno de esos estímulos, Goldstein (2011), lo describe como: “El color es una de las cualidades más obvias y dominantes que hay en nuestro entorno.” (p.202), a lo que Seddon y Waterhouse (2009), dicen:

“El color es la herramienta más influyente de la que se dispone cuando se trata de transmitir un mensaje.” (p.72).

Según Ford, Roberts (1998), la percepción del color se debe a que el cerebro reacciona a un estímulo visual; esta experiencia es subjetiva entre muchas otras que se reciben al mismo tiempo, por esto el color no existe como una realidad física. Sin embargo, por otro lado, es posible caracterizar el color de acuerdo a medir las longitudes de onda visibles del espectro electromagnético.

De manera que, mientras se cuenta con el sentido de la vista, la percepción del color será inevitable, ya que en todo momento se está expuesto a los estímulos de los diferentes colores.

La percepción del entorno es particular, ya que como individuos se cuentan con características exclusivas de identidad, sociales y culturales, es por eso que, cada uno concibe una idea única del entorno y por lo tanto del color. Según Judd (1970), afirma que “la composición de longitud de onda de un haz de luz sirve para definir su color, y sugiere que la física es la clave del enigma del color. De hecho, los rayos, expresados correctamente, no están coloreados, no hay nada más en ellos, sino un cierto poder o disposición que los condiciona para que produzcan en nosotros la sensación de este o aquel color.” (p. 6,7).

Tena (2005) menciona que “El color, es un fenómeno comunicativo influido por las informaciones previas que posee cada individuo sobre cada uno de los colores. La información previa sobre el color y las capacidades de cada receptor para percibirlo proporcionan al color diferentes significados.” (p.136).

Por su parte, Schiffman en su libro *Sensación y Percepción*, afirma que: “Para los seres humanos, la visión es el sistema predominante y más significativo. En el plano biológico esto lo confirma el hecho de que aproximadamente la mitad de la corteza cerebral humana está dedicada al procesamiento visual. En el plano conductual, el predominio de la visión para el ser humano se muestra, en parte cuando la visión entra en conflicto con algún otro sistema sensorial.” (p.44). Ford y Roberts (1998) especifican acerca de la cualidad perceptiva del color, tal vez sea la más obvia de cuantas se experimentan subjetivamente, sin embargo, “objetivamente hablando el color no existe como tal en la realidad física, únicamente existe la variabilidad de las longitudes de onda de la luz visible, sólo tiene entidad en cuanto fenómeno psíquico vivido.” (p. 3).

3.2 El Modo HSB como eje de las tonalidades cromáticas

Para entender el color es necesario conocer sus propiedades cualitativas y cuantitativas distinguibles por el ojo humano, por mencionar algunas el tono, valor, intensidad, saturación o bien la brillantez, croma, coloración, y la ligereza. (Ford, Roberts, 1998)

Según Munar, Rosselló y Sánchez-Cabaco (1999, p. 241), existen en la actualidad dos distintas formas de entender la naturaleza de la luz, dicen que: “La luz puede ser entendida bien como un flujo de corpúsculos o bien como patrones de ondas electromagnéticas. Es decir que cada una de estas formas de luz permite entender ciertos fenómenos físicos. Sin embargo, para el estudio de la percepción la luz es estudiada como patrones de ondas electromagnéticas.

Para Munar et. al. (1999, p. 241) “La percepción visual se basa en el principio según el cual las ondas electromagnéticas son detectables por otras cargas oscilantes con la misma frecuencia ondulatoria. La retina (estructura situada sobre el fondo del ojo en la que como veremos, se disponen los fotorreceptores) ha sido configurada a través de la evolución para detectar el espectro de ondas electromagnéticas asociadas a la luz.” Al existir estas correlaciones se originan los distintos tonos y al alterarse su valor y saturación el resultante son las tonalidades.

Por otro lado, a partir de la propuesta de la esfera cromática de Rounge, surgen otras propuestas de estudiosos del color en distintas disciplinas, éstas con la finalidad de explicar el fenómeno del color y la luz de una manera ordenada, de acuerdo a sus necesidades de uso. El sólido de Munsell, el sistema NCS, el sistema RGB, el sistema CMYK, el sistema HSB, la guía Pantone, son por mencionar algunos de los tantos sistemas para administrar el color.

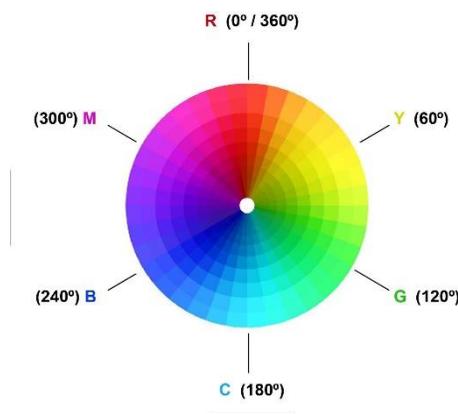
Desde esta postura y para esta investigación es seleccionado el modelo HSB por sus particularidades matemáticas ya que este modelo permite modificar los componentes numéricos del tono, valor y saturación para realizar alteraciones en las tonalidades de forma sencilla y al mismo tiempo, exacta.

Según Huang (2005) El modelo HSB (*Hue, Saturation and Brightness*), es una derivación del espacio-cubo de color RGB (*Red, Green Blue*). En el espacio de color aditivo RGB se determina una gama cromática a partir de los tres primarios luz rojo, verde y azul; un determinado color depende la respuesta de combinación del rojo, verde y azul, es decir un color es una mezcla de tres primarios; un tono (*hue*) de la combinación de máximo de dos primarios, y un primario corresponde a un primario. (Smith, 2016. p. 4)

La selección de un color vía el espacio RGB es ilógica, a diferencia de la selección de color en el espacio HSB en el cual esta selección heurística de un color se aproxima a las cualidades de percepción de Hue (Tono), *Saturation* (Valor) and *Brightness* (Saturación); es decir, asemeja la forma en la que una persona percibe los colores. (Smith, 1978, citado por Huang, 2005). Cambiar el color elegido en el Sistema RGB al Sistema HSB se solventa mediante la utilización de fórmulas o bien en las barras de parámetros de un programa como Adobe Photoshop.

De manera que, al ser un modelo de color que permite realizar variaciones tonales de manera sistemática y con una consistencia que también facilita la forma de selección prestándose por ello para la sistematización de los instrumentos de evaluación utilizados en esta investigación. Trabajar con esta modalidad permite elegir cualquier parte del mapa circular (Figura 1) para escoger un color, junto a este mapa de colores hay unas barras que permiten ajustar el valor y la saturación. Ver Figura 3.1.

Figura 3.1 Mapa circular de los colores HSB



Fuente: Elaboración propia. El mapa circular de los colores se mide en el sentido de las agujas del reloj

El tono, al ubicarse en el mapa circular de colores se mide en grados iniciando en el rojo que se encuentra en los 0°, el naranja en los 30°, el amarillo en los 60° el verde amarillento en los 90°, el verde en los 120°, el verde azulado en los 150°, el cian en los 180°, el azul cielo en los 210°, el azul en los 240°, el violeta en los 270°, el fucsia en los 300° y el magenta en los 330°, este orden, como se muestra en la Figura 3.1

Por su parte el valor y la saturación se miden en porcentajes, dependiendo de la caracterización de cada uno de ellos. En el brillo o valor el más claro es el que tiene el 100% de valor y el más oscuro el que tiene menor valor 0%. En la saturación el color con más pureza tiene 100% y conforme se agregue negro o se agrise se vuelve menos saturado hasta llegar al 0%.

3.3 Propiedades del color

Tono ($\phi = hue$)

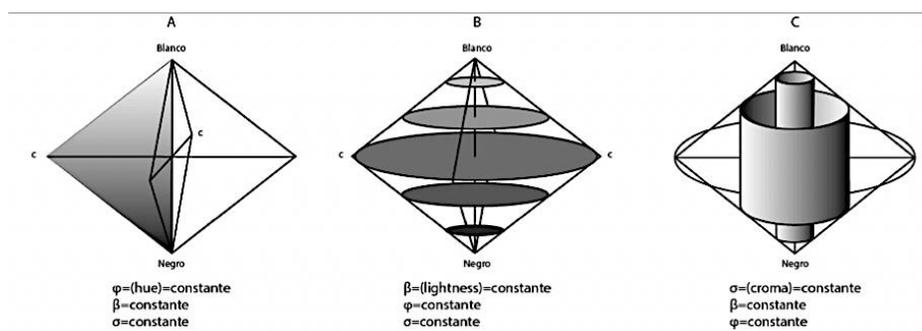
Tono “Atributo de ciertos colores que les permite clasificarse como rojo, amarillo, verde, azul y sus intermedios.” Judd, (1979, p. 233).

La designación de tono sirve para indicar el rango del ángulo de matiz en un sólido de color, es decir, conocer los rangos de ligereza y saturación para este determinado tono. Judd, (1979, p. 222). Es de naturaleza cualitativa. De acuerdo a las notaciones de CIE (por sus siglas en francés, la *Comission Internationale de l'Eclairage*), Comisión Internacional sobre la Iluminación, el término tono es el atributo de una sensación visual de naturaleza cualitativa, según la cual un área parece ser similar a uno de los colores percibidos, rojo, amarillo, verde y azul, o una combinación de dos de ellos. Hablando en términos generales, si la longitud de onda dominante de un SPD cambia, el tono del color asociado cambiará. Artigas, JM., Capilla, P., Pujol, J. (2015).

Tronquist (2008) afirma que “Si seccionamos el sólido por la mitad en vertical: obtendremos dos secciones divididas a su vez por la recta vertical que representa el eje de los grises. Las semisecciones son los planos de las tintas caracterizados por el color puro situado en el punto más distante del eje de los grises.” (p. 19). Ver Figura 3.2.

De este modo, por ejemplo, en la Figura 3.2 el dibujo A, muestra una semisección del sólido, definida por una parte por un azul puro, y por otra por el blanco y por el negro, es un plano que contiene todos los colores que se originan al mezclar estos tres colores citados. Aunque se trata de colores distintos, todos pertenecen a la misma tinta. Los colores situados en el eje de los grises, no tienen matiz.

Figura 3.2 Representación del tono, valor y saturación



Fuente: Tronsquit (2008). A, representa el Tono, B el Valor C la Luminosidad

Valor (β = lightness)

El grado de valor, también llamado claridad de un color se determina por la cantidad de luz que se refleja. El color blanco, por ejemplo, refleja el 100% de la luz incidente, el negro, por su parte el 0%. Así entre estos extremos se extiende el eje de los grises, por lo que en medio se encuentra el gris con un valor de 50%. En cada sección del horizontal del sólido da lugar a un plano donde están situados todos los colores del mismo valor. Los colores del círculo cromático se encuentran en diferentes alturas, en relación con el valor. Ver Figura 3.2, Dibujo B.

Luminosidad (σ = croma)

Es la cantidad de color puro que se percibe. Se atribuye saturación nula a los colores acromáticos, es decir, a la escala de grises y al igual que el valor también puede medirse en porcentaje. Se asigna la saturación máxima (100%) a los colores puros. Al añadir colores acromáticos a un color puro, se resta a esta saturación. Los puntos de máxima distancia del eje central corresponden a los colores de máxima saturación, por ende, a los colores puros del círculo cromático. Ver Figura 3.2, Dibujo C.

3.4 Los eventos de instrucción como proceso perceptivo

El aprendizaje es pensado como una cuestión de percepción, así mismo como un procesamiento de información, en este caso el estudiante se encuentra con una serie de estímulos ambientales, que afectan su sistema nervioso central por medio de un proceso, a través de una serie de etapas.

Según Ogalde y Bardavid (2008) “La información transformada se almacena en la memoria, y un cambio final hace posible una operación que es evidente para un observador externo”. (p. 34). Es por eso que se explica el aprendizaje también como un proceso perceptivo. Según Gagné (1983) define la instrucción como:

“El conjunto de eventos externos planificados que influyen en los procesos de aprendizaje, propiciando que éste se produzca. Es importante señalar que estos eventos externos ocurren en un contexto de procesos internos de control ya que operan en el individuo y hacen que sea posible el aprendizaje.” (p. 36). En este sentido, es importante resaltar que los eventos externos no propician el aprendizaje, sino que ellos apoyan los procesos que el estudiante mantiene internamente.

Por otro lado, reconocer al aprendizaje como una serie de etapas de procesamiento de información, cuando ocurre un episodio de aprendizaje, por más corto que sea, se comprende en etapas, por lo tanto, se deduce que la instrucción incide en las distintas funciones con dichas etapas.

Los eventos de instrucción (EI), son acciones que suceden durante cualquier acto de aprendizaje, en este estudio se abordaran desde el proceso de comunicación visual que se lleva a cabo cuando se presenta un recurso de instrucción o material didáctico digital. Gagné (1983), menciona ocho Eventos de Instrucción (EI): 1. Activar la motivación; 2. Informar acerca del objetivo; 3. Orientar la atención; 4. Estimular la recordación; 5. Proporcionar orientación en el aprendizaje; 6. Intensificar la retención; 7. Fomentar la transferencia en el aprendizaje; 8. Producir la actuación, proporcionar retroalimentación, para este trabajo se utilizaron los tres primeros, que a continuación se describen:

3.5 Activar la motivación

Esta fase de la instrucción va acompañada por la expectativa, de manera que cuando se inicia una tarea específica puede darse la motivación.

Para Gagné (1983), la motivación puede estimularse en caso de que no se encuentre presente y que el establecimiento de la misma puede constituir una etapa preparatoria para cualquier acto de aprendizaje. En este sentido, activar la motivación puede autogenerarse o bien ser propiciada por un comunicador.

Los eventos iniciales de una lección con frecuencia se proyectan para volver a despertar estados de motivación en el estudiante. La introducción a una lección con frecuencia logra esto “apelando al interés del alumno”. Entonces, es posible activar la motivación del estudiante, por medio de la expectativa, en caso de que no la tenga.

3.6 Informar al alumno acerca del objetivo

Gagné (1983) lo describe como “El conjunto se puede establecer cuando el profesor, o el texto, comunique al alumno lo que este aprenderá.” (p. 123), esto es, comunicarle un mensaje por cualquier medio, de forma directa y con un fin específico. En este evento de instrucción, es el momento pertinente de una expectativa concreta del resultado esperado del aprendizaje de la tarea o lección.

3.7 Orientar la atención

Se describe, de acuerdo con Gagne (1983) como “La atención de un estudiante se puede orientar mediante comunicaciones simples tales como “observe esta serie de números”, u “observe el sujeto y el verbo en esta oración”. (p. 125), mediante la instrucción es posible orientar la atención de un estudiante hacia algún aspecto relevante tanto del tema, objetivo o los materiales didácticos utilizados en el momento educativo. Gagné (1983), menciona “También se pueden emplear métodos más precisos para orientar la atención, particularmente cuando se requiere de la percepción selectiva de ciertas características de la estimulación externa.” (p. 124)

Esto es, que se pueden emplear técnicas para que el estudiante atienda de manera consiente una disposición, deduciendo que los eventos de instrucción pueden ser influenciados o manipulados para lograr mover al estudiante hacia resultado deseado.

Tabla 3.1 Acciones para generar un Evento de Instrucción (EI)

Evento de instrucción	Activar la Motivación	Informar al estudiante acerca del objetivo	Orientar la atención
a) Acción que generan	Motivar	Informar	Atender
b) ¿Cómo se genera la acción?	Despertando interés	Comunicando contenidos	Dando indicaciones

Fuente: Elaboración propia. La Tabla 1 muestra los eventos de instrucción: 1, 2 y 3, las acciones que generan (a) y como el instructor puede generar la acción a través de los elementos de comunicación (b).

3.8 Método

3.9 Objetivo general

Definir la preferencia en la percepción visual de las tonalidades cromáticas del modelo HSB hacia los eventos de instrucción: motivar, informar y atender.

3.10 Objetivos específicos

- Determinar la percepción visual de los diferentes tonos respecto al círculo cromático del modelo HSB.
- Identificar la percepción visual entre las tonalidades intermedias, claras, agrisadas y oscuras, respecto al modelo HSB.
- Organizar las tonalidades cromáticas del modelo HSB con los eventos de instrucción.

3.11 Hipótesis

Hi = La preferencia en la percepción visual de las tonalidades intermedias del modelo HSB hacia los eventos de instrucción es mayor al resto de las tonalidades cromáticas.

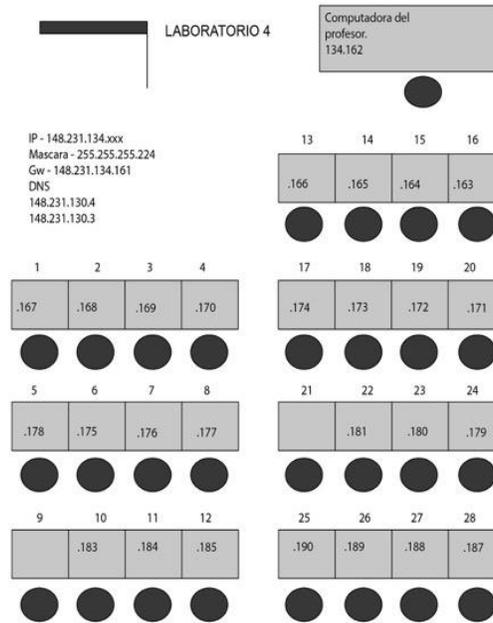
3.12 Procedimiento

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Baja California, donde se imparten tres carreras del área de Arquitectura y Diseño, y nueve carreras del área de Ingeniería, su matrícula actual es de 4500 alumnos aproximadamente.

La población de interés para el estudio son los alumnos de etapa básica de estas dos áreas de enseñanza. Los participantes de la muestra fueron seleccionados por sistema de muestreo, según Nieves y Domínguez (2010), de modo que, de la matrícula actualmente activa, de 780 alumnos se tuvo una participación de 240 alumnos, quedando 124 participantes del grupo de Ingeniería y 116 participantes del grupo de Arquitectura y Diseño.

Para este momento de evaluación se utilizaron las instalaciones de un laboratorio de cómputo equipado con 28 máquinas. Dicho laboratorio cuenta con siete mesas, dónde cada mesa tiene cuatro computadoras, que se distribuyen en tres mesas al costado derecho y cuatro mesas en el costado izquierdo del laboratorio, como se muestra en la Figura 3.3.

Figura 3.3 Distribución de las computadoras en el laboratorio de cómputo



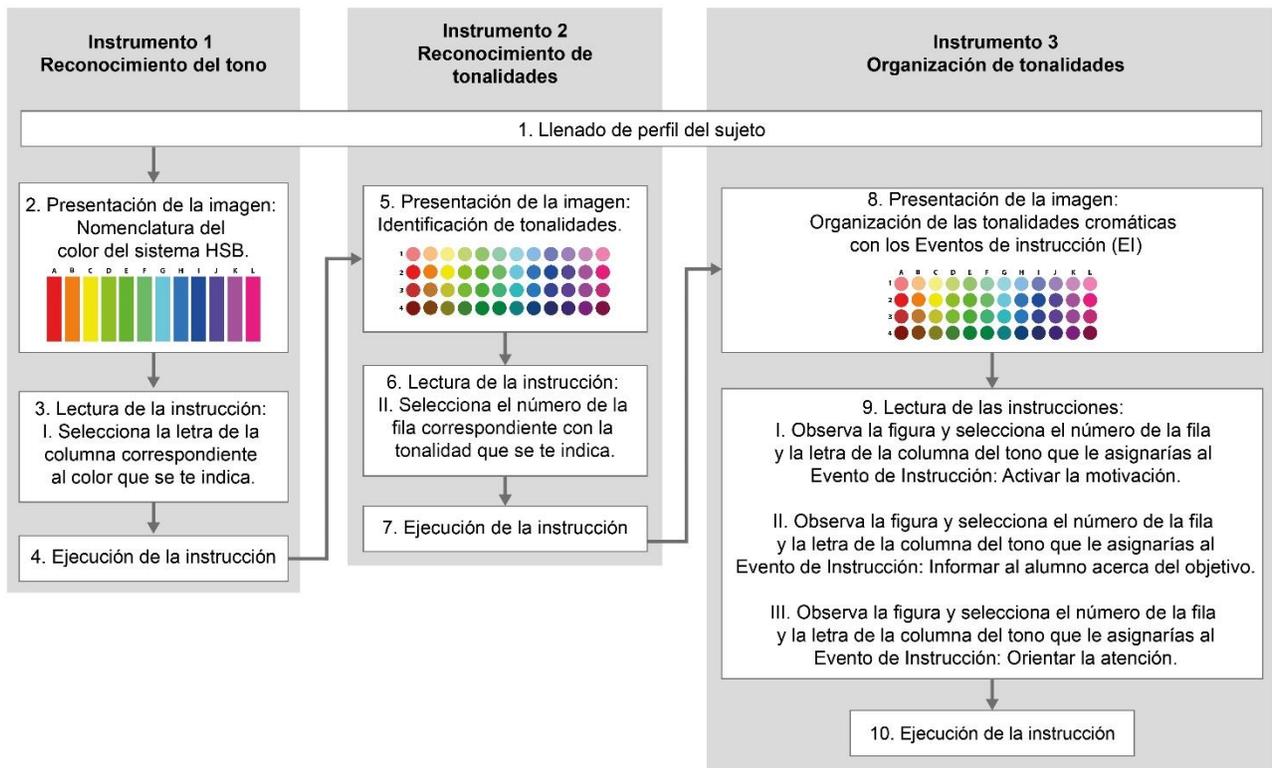
Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la distribución de las computadoras en el laboratorio de cómputo en que fue aplicada la evaluación

Las computadoras de escritorio son *Hewlett Packard Pentium Dual-Core 2.50 ghz*, con una memoria ram de 4 gb y 300 gb de disco duro, el sistema operativo que usan es *Windows XP*, el monitor es de LCD de 19 pulgadas. Los monitores se ajustaron con un programa llamado *Calibrize* de uso y descarga libre, dicho programa consiste en el seguimiento de tres pasos. En el primer paso, se ajusta el contraste y el brillo de la pantalla, dándole un valor al contraste de 70% y para el brillo de 80%. En el segundo paso se ajustan los valores de los colores rojo, azul y verde quedando todos al mismo nivel. En el tercer paso, se guardaron los cambios en la configuración de los ajustes realizados.

La evaluación se llevó a cabo por medio de *Google forms*, aplicación que ofrece *Google drive* para realizar encuestas y adquirir información estadística sobre la opinión de un grupo de personas. Al inicio de la prueba se les pidió a los participantes que se colocaran frente a una computadora, ubicando así el monitor a 45 centímetros de distancia de su vista, aproximadamente.

Para comenzar la prueba los sujetos leyeron un aviso de privacidad con la finalidad de decidir si querían participar en el ejercicio investigativo. Cabe mencionar que, 100% de los encuestados respondieron que aceptaban participar. Enseguida, se les realizaron preguntas personales sobre su edad, género y programa educativo que estudian. Después procedieron a contestar una serie de tres instrumentos, en los cuales el tiempo que les llevó contestarlos fue de entre 11 a 18 minutos aproximadamente, siguiendo el procedimiento de investigación plasmado en la Figura 3.4.

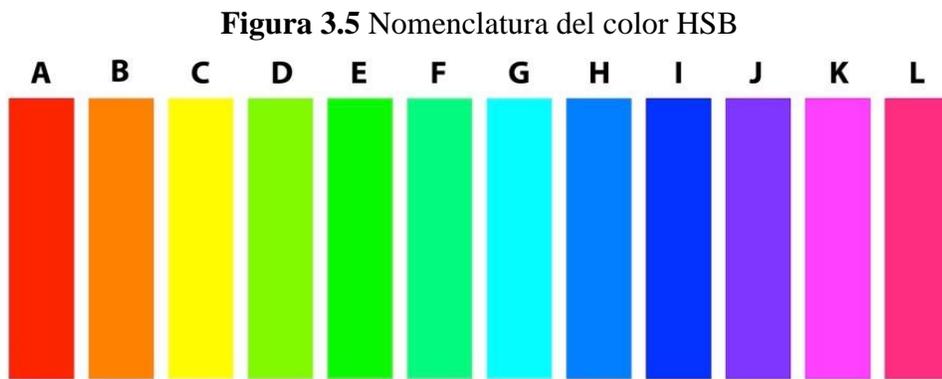
Figura 3.4 Procedimiento de investigación de acuerdo a los instrumentos de evaluación presentados a los sujetos del estudio.



Fuente: Elaboración propia. Este procedimiento describe los tres instrumentos presentados a los sujetos del estudio

3.13 Instrumento 1: Nomenclatura del color del modelo HSB

En este instrumento de evaluación se les presentó una imagen que contenía franjas con distintos tonos seleccionados cada 30 grados, respecto a la rueda del color. según el modelo HSB. Las tonalidades que se usaron para este instrumento fueron intermedias y se ordenaron de la “A” a la “L”, así como lo muestra la Figura 3.5.



Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la imagen presentada en el primer instrumento de evaluación, usada para nombrar los colores

Los valores de los modelos cromáticos HSB, RGB y CMYK usados para este instrumento fueron los siguientes, expuestos en el orden mencionado en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Valores numéricos de los modelos cromáticos HSB, RGB y CMYK de las tonalidades saturadas.

	HSB	RGB	CMYK
A. Rojo	0, 100, 100	255, 0, 0	0, 95, 92, 0
B. Anaranjado	30, 100, 100	255, 128, 0	0, 59, 94, 0
C. Amarillo	60, 100, 100	255, 255, 0	10, 0, 95, 0
D. Verde amarillento	90, 100, 100	128, 255, 0	53, 0, 100, 0
E. Verde	120, 100, 100	0, 255, 0	0, 100, 0
F. Verde azulado	150, 100, 100	0, 255, 128	61, 0, 74, 0
G. Cian	180, 100, 100	0, 255, 255	57, 0, 15, 0
H. Azul cielo	210, 100, 100	0, 128, 255	80, 50, 0, 0
I. Azul	240, 100, 100	0, 0, 255	93, 75, 0, 0
J. Violeta	270; 100; 100	128, 0, 255	79, 80, 0, 0
K. Fucsia	300, 100, 100	255, 0, 255	41, 78, 0, 0
L. Magenta	330, 100, 100	255, 0, 227	0, 93, 8, 0

Fuente: Elaboración propia. Los valores de RGB son los usados en pantalla y los CMYK en la impresión

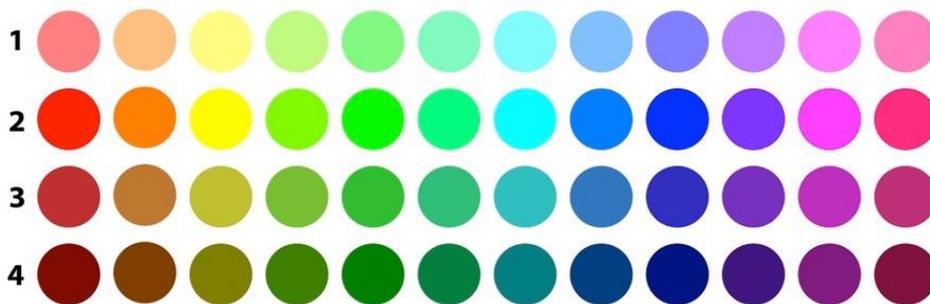
Para determinar la percepción visual de los diferentes tonos respecto al círculo cromático del modelo HSB, se les pidió seleccionar la letra de la columna correspondiente a cada color. Las indicaciones para este instrumento fueron las siguientes:

Relaciona la letra de la columna correspondiente al color rojo y marca tu respuesta.

3.14 Instrumento 2: Identificación de tonalidades cromáticas

En el siguiente instrumento de evaluación se les presentó una imagen que contenía círculos con variaciones tonales ordenados de forma vertical, también seleccionados cada 30 grados respecto a la rueda de color según el modelo HSB. Sin embargo, para poder identificar las propias tonalidades se expusieron en filas enumeradas del 1 al 4, ordenadas de la siguiente forma: 1) tonalidades claras, 2) tonalidades intermedias, 3) tonalidades agrisadas y 4) tonalidades oscuras, así como lo muestra la Figura 3.6.

Figura 3.6 Identificación de tonalidades cromáticas



Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la imagen presentada en el segundo instrumento de evaluación, utilizada para identificar las tonalidades cromáticas

Los valores de los modelos cromáticos HSB, RGB y CMYK usados para este instrumento fueron los siguientes, expuestos en el orden mencionado en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores numéricos HSB, RGB y CMYK de las tonalidades claras, saturadas, oscuras.

1. Tonalidades claras			
	HSB	RGB	CMYK
Rojo	0, 50, 100	255, 128, 128	0, 63, 38, 0
Anaranjado	30, 50, 100	255, 192, 128	0, 31, 54, 0
Amarillo	60, 50, 100	255, 255, 128	0, 0, 60, 0
Verde amarillento	90, 50, 100	192, 255, 128	31, 0, 66, 0
Verde	120, 50, 100	128, 255, 128	9, 0, 71, 0
Verde azulado	150, 50, 100	128, 255, 192	47, 0, 41, 0
Cian	180, 50, 100	128, 255, 255	44, 0, 12, 0
Azul cielo	210, 50, 100	40, 58, 73	86, 65, 47, 48
Azul	240, 50, 100	128, 128, 255	63, 53, 0, 0
Violeta	270, 50, 100	192, 128, 255	45, 53, 0, 0
Fucsia	300, 50, 100	255, 128, 255	23, 55, 0, 0
Magenta	330, 50, 100	255, 128, 191	0, 62, 0, 0
2. Tonalidades saturadas			
	HSB	RGB	CMYK
Rojo	0, 100, 100	255, 0, 0	0, 95, 92, 0
Anaranjado	30, 100, 100	255, 128, 0	0, 59, 94, 0
Amarillo	60, 100, 100	255, 255, 0	10, 0, 95, 0
Verde amarillento	90, 100, 100	128, 255, 0	53, 0, 100, 0
Verde	120, 100, 100	0, 255, 0	0, 100, 0
Verde azulado	150, 100, 100	0, 255, 128	61, 0, 74, 0
Cian	180, 100, 100	0, 255, 255	57, 0, 15, 0
Azul cielo	210, 100, 100	0, 128, 255	80, 50, 0, 0
Azul	240, 100, 100	0, 0, 255	93, 75, 0, 0
Violeta	270; 100; 100	128, 0, 255	79, 80, 0, 0
Fucsia	300, 100, 100	255, 0, 255	41, 78, 0, 0
Magenta	330, 100, 100	255, 0, 227	0, 93, 8, 0
3. Tonalidades agrisadas			
	HSB	RGB	CMYK
Rojo	0, 75, 75	191, 48, 48	18, 92, 81, 8
Anaranjado	30, 75, 75	191, 120, 48	21, 55, 88, 10
Amarillo	60, 75, 75	191, 191, 48	32, 13, 91, 1
Verde amarillento	90, 75, 75	120, 191, 48	59, 0, 95, 0
Verde	120, 75, 75	48, 191, 48	71, 0, 98, 0
Verde azulado	150, 75, 75	48, 91, 120	70, 0, 67, 0
Cian	180, 75, 75	48, 191, 191	68, 0, 31, 0
Azul cielo	210, 75, 75	48, 120, 191	80, 47, 0, 0
Azul	240, 75, 75	48, 48, 191	80, 47, 0, 0
Violeta	270, 75, 75	120, 48, 191	75, 83, 0, 0
Fucsia	300, 75, 75	191, 48, 191	48, 82, 0, 0
Magenta	330, 75, 75	191, 48, 17	23, 91, 19, 4
4. Tonalidades oscuras			
	HSB	RGB	CMYK
Rojo	0, 100, 50	128, 0, 0	29, 100, 100, 40
Anaranjado	30, 100, 50	128, 64, 0	32, 72, 100, 40
Amarillo	60, 100, 50	128, 127, 0	51, 34, 100, 20
Verde amarillento	90, 100, 50	64, 128, 0	77, 26, 100, 12
Verde	120, 100, 50	0, 128, 0	86, 22, 100, 10
Verde azulado	150, 100, 50	0, 128, 64	87, 24, 93, 9
Cian	180, 100, 50	0, 127, 127	84, 27, 47, 12
Azul cielo	210, 100, 50	0, 64, 128	100, 78, 22, 7
Azul	240, 100, 50	0, 0, 128	100, 93, 26, 14
Violeta	270, 100, 50	64, 0, 128	94, 100, 13, 5
Fucsia	300, 100, 50	128, 0, 128	64, 100, 3, 1
Magenta	330, 100, 50	128, 0, 63	31, 100, 38, 40

Fuente: Elaboración propia. Los valores de RGB son los usados en pantalla y los CMYK en la impresión

Para identificar la percepción visual entre las tonalidades claras, intermedias, agrisadas y oscuras se les pidió seleccionar el número de la fila correspondiente con dichas tonalidades. Las indicaciones para este instrumento fueron las siguientes:

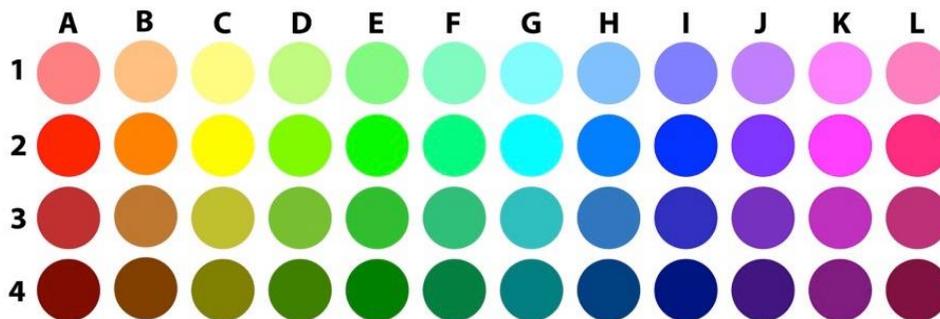
1. Relaciona el número de la fila correspondiente con la tonalidad que se te indica.

1	Tonalidad clara
2	Tonalidad intermedia
3	Tonalidad agrisada
4	Tonalidad oscura

3.15 Instrumento 3: Organización de las tonalidades cromáticas del modelo HSB con los Eventos de instrucción (EI)

En este instrumento de evaluación se les presentó la misma estructura de tonalidades que en el instrumento 2, sin embargo, a éste se le agregaron en la parte superior de la imagen, letras de la “A” a la “L”, como lo muestra la Figura 7.7, formando un total de 48 tonos resultantes.

Figura 7.7 Organización de las tonalidades cromáticas con los Eventos de Instrucción (EI)



Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la imagen presentada en el tercer instrumento de evaluación, utilizada para relacionar las tonalidades cromáticas con los Eventos de instrucción (EI)

Los valores de los modelos cromáticos HSB, RGB y CMYK usados para este instrumento fueron los mismos que se aplicaron en el instrumento 2.

Para organizar las tonalidades cromáticas con los Eventos de instrucción (EI) se les pidió que seleccionaran el número de la columna y la letra correspondiente a algún tono con un evento de instrucción. Las indicaciones para este instrumento fueron las siguientes:

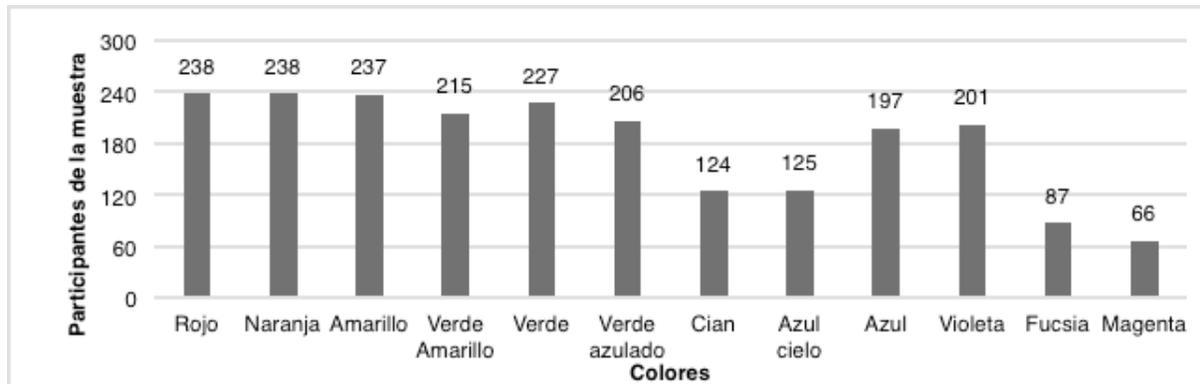
1. Observa atentamente la Figura y selecciona el número de la columna y la letra de la fila del tono que le asignarías al siguiente evento de instrucción.
 - a) Activar la motivación: en la presentación de un recurso didáctico, recurso de instrucción o material didáctico.
2. Observa atentamente la Figura y selecciona el número de la columna y la letra de la fila del tono que le asignarías al siguiente evento de instrucción.
 - b) Informar al alumno acerca del objetivo: en la presentación de un recurso didáctico, recurso de instrucción o material didáctico.
3. Observa atentamente la Figura y selecciona el número de la columna y la letra de la fila del tono que le asignarías al siguiente evento de instrucción.
 - c) Orientar la atención: en la presentación de un recurso didáctico, recurso de instrucción o material didáctico.

3.15 Resultados generales

3.16 Instrumento 1: Nomenclatura del color del modelo HSB

En la Gráfica 3.1 se exponen las respuestas que dieron los participantes en la relación de los colores y la nomenclatura. En el color rojo acertaron 238, en el naranja 238, amarillo 237, verde amarillo 215, verde 227, verde azulado 206, cian 124, azul cielo 125, azul 197, violeta 201, fucsia 87 y magenta 66. Esta gráfica muestra claramente la naturalidad con la que se relaciona al color rojo, naranja, amarillo, verde amarillo, verde azulado, azul, y violeta, cerca de la media se encuentran el cian y el azul cielo, por otra parte, se puede notar la dificultad con la que se relaciona al color fucsia y magenta.

Gráfico 3.1 Nomenclatura de los tonos

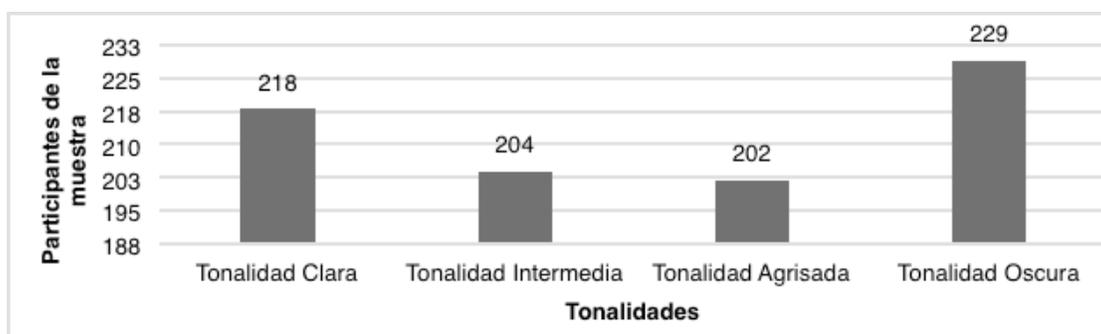


Fuente: Elaboración propia. Esta gráfica expone las respuestas acertadas al relacionar los colores y su Nomenclatura

3.17 Instrumento 2: Identificación de tonalidades cromáticas

En la Gráfica 3.2 se exponen las respuestas que dieron los participantes al seleccionar cada tonalidad. En la tonalidad clara acertaron 218, en la tonalidad intermedia 204, tonalidad agrisada 202 y en la tonalidad oscura 229. Esta gráfica muestra que los participantes pueden distinguir de una tonalidad a otra.

Gráfico 3.2 Identificación de las tonalidades cromáticas

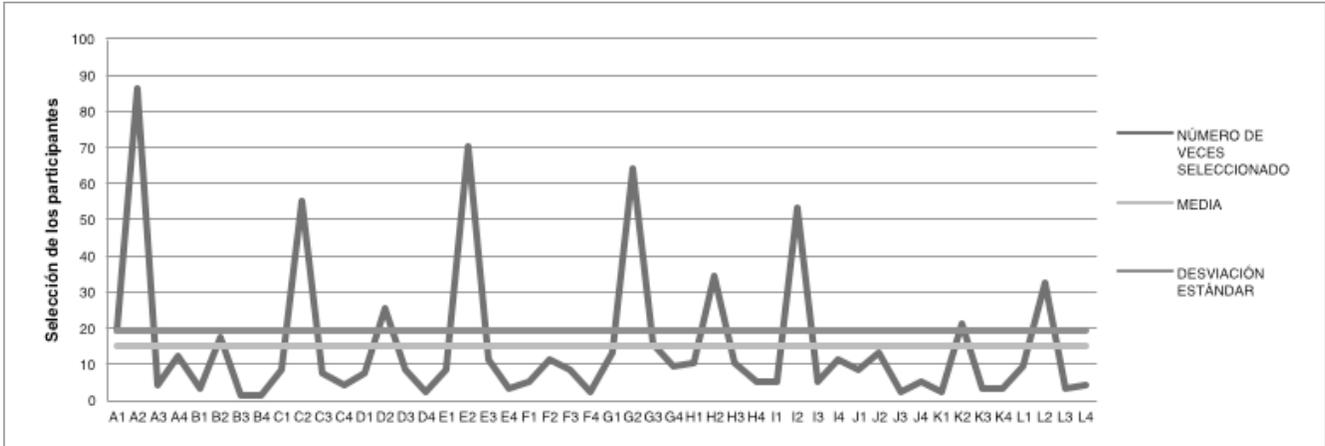


Fuente: Elaboración propia. Esta gráfica expone las respuestas acertadas al seleccionar las tonalidades cromáticas

3.18 Instrumento 3: Organización de las tonalidades cromáticas del modelo HSB con los eventos de instrucción

A continuación, se muestra de manera general la organización de las tonalidades cromáticas y los eventos de instrucción, dónde en la parte posterior de las gráficas se encuentran ubicados los tonos seleccionados, mientras que a la derecha de las gráficas el número de veces seleccionado, la media y la desviación estándar lo que permite visualizar la dispersión de las mismas.

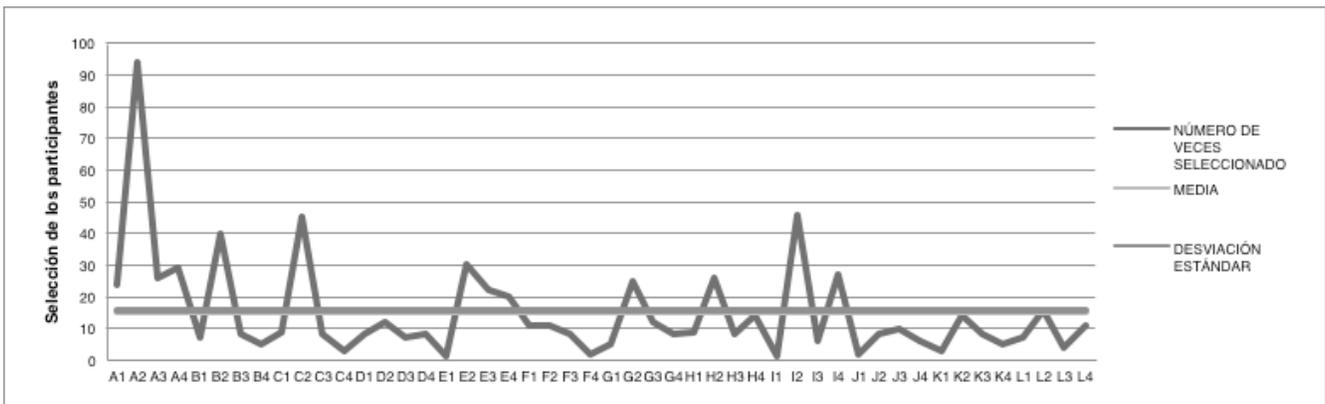
Gráfico 3.3 Total de selecciones del evento de instrucción: Activar la motivación.



Fuente: Elaboración propia. La gráfica expone las selecciones para activar la motivación

La Gráfica 3.3 Muestra los tonos más seleccionados para el evento de instrucción activar la motivación fueron el A2, 86 veces, E2, 70 veces y G2 64 veces, tiene una media de 14.9 con una desviación estándar de 19.10

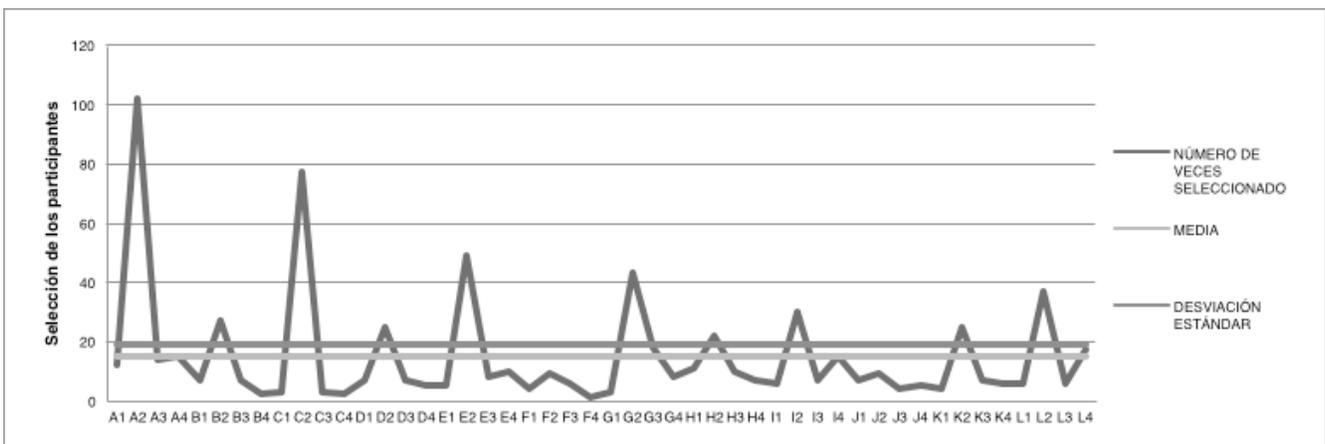
Gráfico 3.4 Total de selecciones del evento de instrucción: Informar al alumno acerca del objetivo.



Fuente: Elaboración propia. La gráfica expone las selecciones para informar al alumno acerca del objetivo.

La Gráfica 3.4 muestra los tonos más seleccionados para el evento de instrucción informar al alumno acerca del objetivo fueron el A2, 94 veces, C2, 45 veces y I2 46 veces, tiene una media de 14.9 con una desviación estándar de 15.93.

Gráfico 3.5 Total de selecciones del evento de instrucción: Orientar la atención.



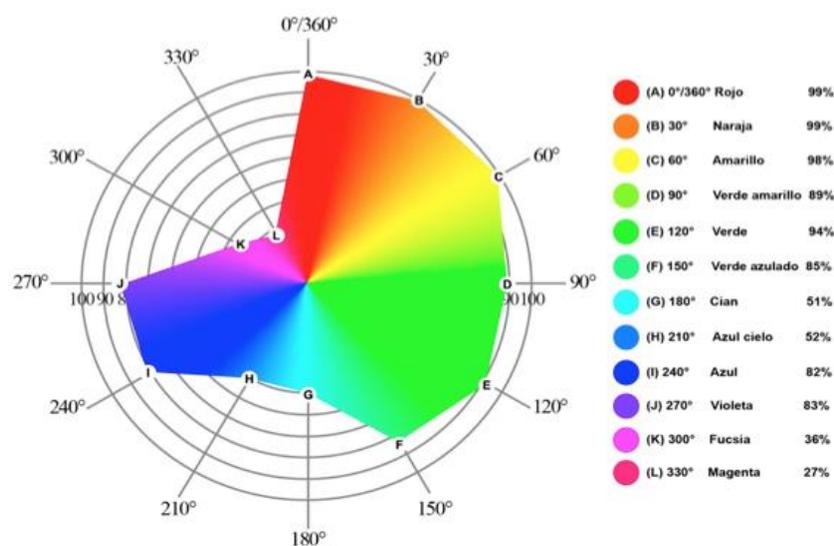
Fuente: Elaboración propia. La gráfica expone las selecciones para orientar la atención

La Gráfica 3.5 muestra los tonos más seleccionados para el evento de instrucción orientar la atención fueron el A2, 102 veces, C2, 77 veces y E2 49 veces, tiene una media de 15 con una desviación estándar de 18.96.

3.19 Hallazgos y discusión

Al determinar la percepción visual de los estudiantes hacia los diferentes tonos respecto al círculo cromático del modelo HSB los resultados expuestos en la Figura 8, se visualiza que la percepción más amplia de los tonos se encuentran desde el 0°/360° hasta los 150° (rojo hasta verde azulado), haciendo un declive en los 180° y 210° (cian y azul cielo), ascendiendo nuevamente en los 240° y los 270° (azul y violeta), bajando nuevamente en los 300° y 330° (fucsia y magenta), esto debido a que en la percepción visual, la mayor parte de los conos (conos rojos 64%, conos verdes 32%, y conos azules 2%) están concentrados en el centro de la retina, y el experimento fue realizado con los sujetos de frente a la computadora, puede explicarse porque se tiene una mejor percepción de estos colores.

Figura 3.8 Visualización de los tonos



Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la percepción de personas a los tonos del modelo HSB

La Figura 3.8 muestra los grados en los que se encuentra cada color en el círculo cromático y el porcentaje de personas que acertó al seleccionar cada uno de estos colores.

Por su parte Schiffman (2004) afirma que “En la percepción del color puede influir también la familiaridad que se tenga del mismo, así como en las asociaciones cromáticas”. (p.128).

Sin embargo, también se puede atribuir esta respuesta de percepción al tipo de frecuencia o longitud de onda que tiene cada uno de los colores y a la capacidad de respuesta que tiene hacia ellos. A esto Arnheim (2002), señala que los nombres de los colores son un poco vagos porque la conceptualización de los colores mismos es ya de por sí problemática, ya que desde luego el mundo del color no se reduce a un surtido de innumerables matices. Sin embargo, haría falta una particular actitud mental para organizar el propio mundo cromático conforme a esas características perceptuales. De manera que, estas “confusiones” al nombrar los colores pueden ser producidas por aspectos particulares que tienen que ver con el intelecto de cada individuo, ahora bien, según Berlin y Kay (1969) es posible agrupar los colores, al reconocerlos por familia en inclusive agrupados.

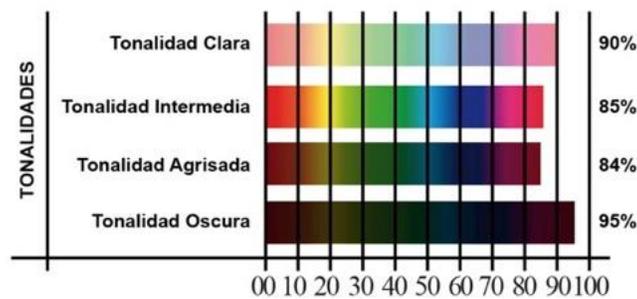
A esto, Goldstein (2011) describe la percepción como la información que ya se tiene y se ha convertido en señales eléctricas, que fluyen por las vías nerviosas del cerebro se han transformado en la percepción. Anteriormente algunos modelos de procesos de percepción se detenían en esta etapa. Finalmente, si alguien ve algo, ya lo ha percibido, pero también han sucedido otras cosas, lo ha reconocido y ha decidido cómo actuar ante ello.

Estas dos siguientes etapas son resultados igual de importantes para el proceso de percepción, entonces define el reconocimiento como la capacidad para situar los objetos en categorías que les confieren un significado. Aunque pueda parecer que la percepción y el reconocimiento pueden agruparse por tratarse de procesos similares, los investigadores han demostrado que son procesos distintos, explica que, ciertas personas con algún daño cerebral ven bien las cosas, pero se les dificulta reconocer lo que son. Entonces es aquí donde inicia la última etapa del proceso perceptivo.

En este sentido, se puede decir que los sujetos del grupo de estudio perciben de manera aceptable la primera mitad del círculo cromático del modelo HSB, ya que los nombres de los colores que se presentaron en los instrumentos de evaluación son nombres comunes, mientras que en la siguiente mitad del círculo cromático les cuesta trabajo reconocer los colores por su nombres, sin embargo en esta parte reconocen claramente el azul y violeta, nombres simples utilizados a diario en el vocabulario del color en este grupo.

La Figura 3.9, obedece al segundo objetivo específico, identificar la percepción visual entre las tonalidades intermedias, claras, agrisadas y oscuras, respecto al modelo HSB, donde se puede entender con facilidad que todas las tonalidades son identificadas de manera aceptable por el grupo muestra.

Figura 3.9 La visualización de las tonalidades

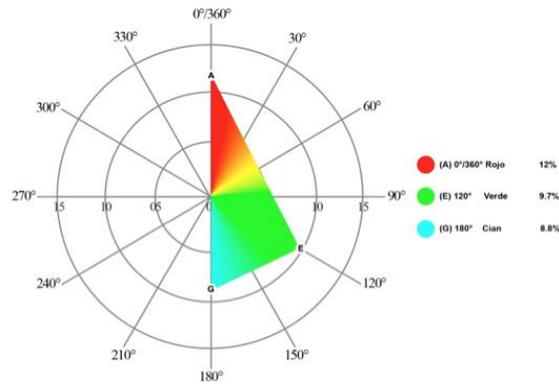


Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra el porcentaje de las personas que acertaron al seleccionar cada tonalidad del modelo HSB

Según Berlin y Kay (1969) la nomenclatura de color, más elemental distingue la oscuridad y la claridad y ésta es la primera jerarquía de colores que puede realizar una persona, entonces no es de asombrarse el acierto al lograr relacionar satisfactoriamente cada tonalidad. Con lo anterior se puede dar pie para hablar del tercer objetivo específico, organizar las tonalidades cromáticas del modelo HSB con los eventos de instrucción: motivar, informar y atender, primeros tres eventos de los ocho descritos por Robert Gagné (1983), en este sentido, se han elegido los primeros tres por su grado de basicidad según el perfil del alumno descrito en el apartado del método.

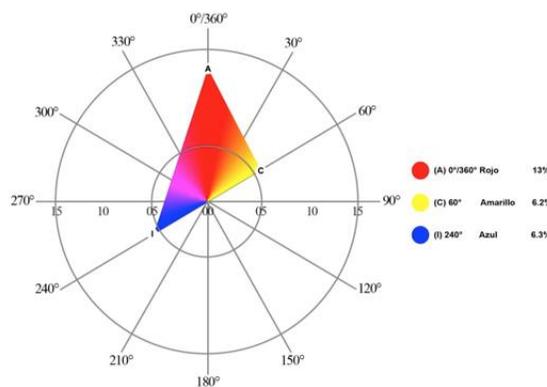
En el ciclo de la percepción estos eventos se llevan a cabo en la etapa del estímulo proximal el cual según Goldstein (2011) es cuando se enfoca la vista para percibir por áreas y al hacerlo de esta manera permite apreciar más al detalle ya que requiere de una atención específica que se da en este momento y sucede de una manera más consiente, pues los individuos deciden en este momento prestar cuidado o no a los detalles. En este tenor, las Figuras 10, 11 y 12 demuestran los tonos seleccionados para los eventos de instrucción: activar la motivación, informar al alumno acerca del objetivo y orientar la atención, respectivamente, en dónde los resultados arrojados coinciden en todas las respuestas que las tonalidades saturadas fueron las seleccionadas para dichos eventos.

Figura 3.10 Tonos seleccionados para activar la motivación, tonalidades saturadas



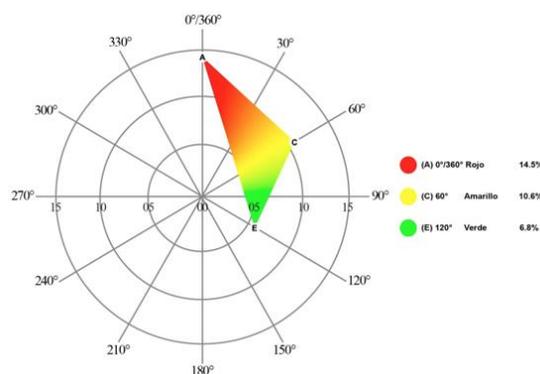
Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la selección de los tonos del modelo HSB y el evento de instrucción: activar la motivación

Figura 3.11 Tonos seleccionados para informar al alumno acerca del objetivo, tonalidades saturadas



Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la selección de los tonos del modelo HSB y el evento de instrucción: informar al alumno acerca del objetivo

Figura 3.12 Tonos seleccionados para orientar la atención, tonalidades saturadas



Fuente: Elaboración propia. Esta figura muestra la selección de los tonos del modelo HSB y el evento de instrucción: orientar la atención

De manera que la frecuencia con la que aparece el color rojo en la selección de los eventos de instrucción es evidente en los resultados, también, de manera importante resalta la constancia en la presencia de las tonalidades saturadas al relacionar estos eventos. A esto Sekuler y Blake (1994) explican que los conos funcionan mal en situaciones de baja iluminación, pero son altamente eficaces en la percepción de contornos, bordes y contrastes cuando hay mucha luz. Por esta razón la información que viene de los conos tiene que ser procesada de forma más precisa y selectiva que la procedente de los bastones.

Quizás sea por su frecuencia, por su longitud de onda; o por la posición del sujeto al momento de realizar la evaluación; o que forma parte de la síntesis de color más elemental; o simplemente por la relación de alerta que estos colores comunican y que precisamente están ligados a un tema de cierto grado de interés para los sujetos del grupo de estudio.

A esto, Aguilar y Stiles (2010) a partir de un experimento mediante el método de umbral de dos colores, pudieron seguir la respuesta de umbral del mecanismo visual de adaptación oscura a intensidades relativamente altas. A partir de los resultados obtenidos por ese método concluyeron que a una intensidad de campo baja la sensibilidad del mecanismo del vástago, a las diferencias de estímulo empieza a caer rápidamente y que un alta, el mecanismo de varilla se satura y ya no es capaz de responder a un aumento de estímulo.

Esto puede explicar porqué los sujetos de la muestra tuvieron cierta atracción a las tonalidades saturadas, por encima de las otras tonalidades, puede ser que el propio estímulo de alta intensidad se interpuso ante los demás, haciendo que el resto de las tonalidades pasaran desapercibidas.

Con estos resultados se comprueba que la hipótesis “La preferencia en la percepción visual de las tonalidades intermedias del modelo HSB hacia los eventos de instrucción es mayor al resto de las tonalidades cromáticas”, planteada al inicio de esta investigación, es acertada ya que queda demostrado que los alumnos de educación superior prefieren de manera muy significativa las tonalidades intermedias del modelo de color HSB para los eventos de instrucción.

Aspectos a resaltar para futuros temas de investigación ya que la aplicación del color con un propósito de aprendizaje, crea expectativas perceptuales que pueden influir significativamente en las experiencias de los estudiantes, educar para la visualización del color y el diseño de una paleta de color, de acuerdo al perfil del usuario el mensaje podrá ser emitido de manera certera a cada receptor.

Referencias

- Aguilar, M. y Stiles, W.S. (2010). *Saturation of the rod mechanism of the retina at high levels of stimulation*. Journal of Modern Optics. Volumen 1, 1964) 59-65. Recuperado el 12 de junio de 2017 del sitio web: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/713818657>
- Arnheim, R. (2002). *Arte y percepción visual. Psicología del ojo creador*. Madrid: Alianza.
- Arnheim, R. (2011). *El pensamiento visual*. Buenos Aires: Paidós.
- Artigas, JM., Capilla, P., Pujol, J. (coords.) (2015). *Tecnología del color*. [Libro electrónico]. España: Universidad de Valencia. Recuperado de <https://books.google.com.mx/>
- Bachenheimer, H. (2007). *Aprendizaje*. Recuperado el 20 de noviembre de 2014 del sitio web de la Pontificia Universidad Javierana, Cali http://drupal.puj.edu.co/files/OI086_Herman.pdf
- Bachenheimer, H. (2007). *El color y los métodos de aprendizaje*. Recuperado el 20 de noviembre de 2014 del sitio web de la Pontificia Universidad Javierana, Cali http://drupal.puj.edu.co/files/OI088_Herman_1.pdf
- Bachenheimer, H. (2007). *La comunicación y el color*. Recuperado el 20 de noviembre de 2014 del sitio web de la Pontificia Universidad Javierana, Cali http://drupal.puj.edu.co/files/OI087_Herman.pdf
- Berlin, B. y Kay, P. (1969). *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution*. Berkeley. Los Ángeles: University of California Press.
- Bostrom, N. (2009). *Human Enhancement*. Londres: Oxford University Press.
- Coren, S., Ward L. y James, E. (2004). *Sensation and Perception*. New Jersey:
- Eisner, E. (1992). *Procesos cognitivos y currículum*. Barcelona: Ed. Martínez Roca.

- Eppler, M. y Burkhard R. (2004). *Knowledge visualization. Towards a new discipline and its fields of application*. ICA Working Paper. Recuperado el 12 de agosto de 2017, del sitio web: <http://www.library.lu.usi.ch/cerca/bul/publicazzioni/com/pdf/wpca0402.pdf>
- Forgus, R. y Melamed, L. (2010). *Percepción: Estudio del desarrollo cognoscitivo*. México: Ed. Trillas.
- Gagné, R. (1983). *Principios básicos del aprendizaje en la instrucción*. México: Diana.
- Gallego, R. y Sanz, J. (2006). *Armonía cromática*. Madrid: H. Blume.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides J., (1994) *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Massachusetts. Addison-Wesley.
- Goldstein, B. (2011). *Sensación y Percepción*. México: Ed. Thompson.
- Gombrich, E., Julian, H. y Black, M. (2013). *Arte, percepción y realidad*. México: Paidós Ibérica.
- González, M. (2008). *Nuevas Tecnologías y Educación. Diseño, desarrollo, uso y evaluación de materiales didácticos*. México: Ed. Trillas.
- Heller, E. (2005). *Psicología del color. Cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Helmholtz, H. (1962). *Handbook of physiological optics*. New York: Dover Press.
- Huang, S., (2005). *A study of hue identification in the hue circle of the HSB color space*. Perceptual and motor Skills, 2005, 100, 1143-1154. National Formosa University. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/7603590_A_study_of_hue_identification_in_the_hue_circle_of_the_HSB_color_space
- Judd, D. (1979). *Contributions to Color Sciencie*. Rochester, NY: Edited by David L. MacAdam Institute of Optics University of Rochester. Recuperado de: <https://play.google.com/books/reader?id=flwreoEbU1UC&hl=es&pg=GBS.PR1>
- Küppers, H. (2005). *Fundamentos de la teoría de los colores*. México: Gustavo Gili.
- Mahemoff, M., Johnston, L. (1998). *Principles for a Usability-Oriented Pattern language*. Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group (OZCHI '98). Recuperado el 16 de septiembre de 2017, del sitio web: <http://mahemoff.com/paper/principles>.
- Martig, S., Castro, S., Fillottrani, P. y Estévez, E. (2003). *Un Modelo Unificado de Visualización*. Libro de actas del Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Recuperado el 20 de agosto de 2017 del sitio web: <http://redunci.info.unlp.edu.ar/cacic.html>
- Matlin, M. y Foley, H. (1996). *Sensación y percepción*. México: Prentice Hall.
- Milner, D. y Goodale, M. (1995). *The visual brain in action*. New York: Oxford University Press.
- Munar, E.; Rosselló, J. y Sánchez, A. (2011). *Atención y Percepción*. Madrid: Alianza Editorial.
- Olmo, M., Nave, R. (s.f). *Bastones y Conos*. USA: Georgia State University. Recuperado el 20 de febrero de 2017, del sitio web <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/rodcone.html>
- Oviedo, G. (2004). *La definición del concepto de percepción en psicología con base en la teoría de la Gestalt*. Revistas de Estudios Sociales. Recuperado el 13 de agosto de 2017 del sitio web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81501809>
- Palmer, S. y Schloss, K. (2010). *An ecological valence theory of human color preference*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of América. Recuperado el 23 de junio de 2017 del sitio web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2889342/>
- Schiffman, H. (2004). *Sensación y percepción: Un enfoque investigador*. México: Ed. Manual moderno.
- Sekuler, R. y Blake, R. (1944). *Perception*. New York: McGraw Hill.

Smith, R. (2016). *Color Gamut Transform Pairs*. Conference paper in ACM SIGGRAPH Computer Graphics. August 1978. ResearchGate.

Tornquist, J. (2008). *Color y luz. Teoría y práctica*. Barcelona: Gustavo Gili.

Torres, D. (2009). *Aproximaciones a la visualización como disciplina científica*. Revista ACIMED Vol. 20. No. 6. La Habana. Recuperado el 12 de agosto de 2017, del sitio web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001200005

Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M., & von der Heydt, R. (2012). *A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping and figure-ground organization*. *Psychological bulletin*, 138(6), 1172-1217. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3482144/>

Capítulo 4 Aplicación de modelos de simulación en el diseño mecatrónico agrícola para la Agroindustria 4.0. “Modelado del dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación”

Chapter 4 Application of simulation models in agricultural mechatronic design for Agroindustry 4.0. "Modeling of the seed dosing system for automatic germination tray seed drill"

DE ANDA-LÓPEZ, Rosa María†*, BETANZOS-CASTILLO, Francisco, SÁNCHEZ-SALINAS, Agripín, AGUIRRE-ARANDA, Rodolfo

*Universidad Tecnológica del Sur del Estado de México, Dirección de Mecatrónica.
Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo, División de Mecatrónica.*

ID 1^{er} Author: *Rosa María, De Anda-López* / **ORC ID:** 0000-0003-3326-252, **Researcher ID Thomson:** C-7103-2019, **CVU CONACYT ID:** 596793

ID 1^{er} Coauthor: *Francisco, Betanzos-Castillo* / **ORC ID:** 0000-0002-7245-703X, **CVU CONACYT ID:** 206209

ID 2^{do} Coauthor: *Sánchez-Salinas, Agripín* / **Researcher ID Thomson:** 0000-0002-6199-733X

ID 3^{er} Coauthor: *Rodolfo, Aguirre-Aranda* / **ORC ID:** 0000-0002-2968-9732, **Researcher ID Thomson:** 2939956, **CVU CONACYT ID:** 990003

DOI: 10.35429/H.2020.5.61.77

R. De Anda, F. Betanzos, A. Sánchez y R. Aguirre

rossyanda.utsem@gmail.com

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

El presente capítulo trata sobre el proceso de modelación matemática y la simulación por computadora que se han vuelto herramientas de mucha utilidad e indispensables en los diferentes campos del saber humano, principalmente en la actualidad que se ha virado hacia la tecnología 4.0. Hoy en día, la modelación es un instrumento muy común en el estudio de sistemas y el desarrollo acelerado de las técnicas computacionales y al contar con plataformas más flexibles, se han permitido que este desarrollo llegue a todas las áreas del conocimiento. La modelación ha adquirido un carácter metodológico científico general, enriquecido por las conquistas de las matemáticas, la cibernética y el enfoque sistémico en la investigación científica, y ha penetrado en las diferentes especialidades de aplicación del conocimiento que ha transformado la manera de entender un proceso por el hombre, es decir, hoy se tiene que tener la certeza en todas las fases del diseño, que las actividades y toma de decisiones que se está realizando, cumple acertada y completamente con las especificaciones, antes de realizar la construcción o fabricación la modelación y simulación permiten conocer de manera certera del comportamiento del proceso o sistema, de forma tal que se cuente con la confianza de la adquisición de materias y materiales, lo cual disminuye retrasos, pérdidas o errores mayores.

En el presente trabajo se realizó el análisis para el diseño mecatrónico agrícola de un dosificador de semillas para sembradoras neumáticas automatizadas para charolas de germinación, asumiendo que el diseño de maquinaria agrícola no es sencillo ni simple, durante mucho tiempo este tipo de desarrollos se trabajaron bajo el concepto de prueba y error, el objetivo de este trabajo fue modelar y simular un dispositivo dosificador de semillas a través del uso de los parámetros de diseño críticos, como son la velocidad y la presión de trabajo, mediante el uso de la velocidad media del aire que produce la adherencia de un grano en el cilindro, así como también las dimensiones geométricas del mismo. Permitiendo determinar los parámetros óptimos para el diseño del sistema.

Diseño mecatrónico agrícola, Agroindustria 4.0, Sembradora neumática automática, Dosificador de semillas, Modelado matemático.

Abstract

This chapter deals with the process of mathematical modelling and computer simulation, which have become very useful and indispensable tools in the different fields of human knowledge, especially now that it has turned towards 4.0 technology. Nowadays, modeling is a very common tool in the study of systems and the accelerated development of computer techniques. By having more flexible platforms, this development has been allowed to reach all areas of knowledge. Modeling has acquired a general scientific methodological character, enriched by the conquests of mathematics, cybernetics and the systemic approach in scientific research, and has penetrated into the different specialties of knowledge application that has transformed the way man understands a process, that is, today we have to have certainty in all design phases, that the activities and decision making that are being carried out, comply correctly and completely with the specifications, before carrying out the construction or manufacture the modeling and simulation allow to know in an accurate way the behavior of the process or system, in such a way that you can count on the confidence of the acquisition of materials and materials, which reduces delays, losses or major errors.

In the present work the analysis for the agricultural mechatronic design of a seed dispenser for automated pneumatic seed drills for germination trays was made, assuming that the design of agricultural machinery is not simple or easy, for a long time this type of development was worked under the concept of trial and error, the aim of this work was to model and simulate a seed metering device through the use of critical design parameters, such as speed and working pressure, by using the average air speed that produces the adhesion of a grain in the cylinder, as well as the geometric dimensions of the cylinder. This allows to determine the optimal parameters for the design of the system.

Agricultural mechatronic design, Agroindustry 4.0, Automatic pneumatic seed drill, Seed meter, Mathematical modeling.

4. Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, el desarrollo científico y tecnológico han tenido un impacto importante en los sistemas de manufactura, principalmente, iniciando con la máquina de vapor y la mecanización de los procesos, tiempo después con la producción en masa, con la llegada de la automatización y la robótica; y más recientemente, con la llamada “industria 4.0” considerada como la “Cuarta Revolución Industrial”, debido a su potencial y beneficios relacionados con la integración, innovación y autonomía de los procesos, ha exigido más aplicaciones y desarrollos que permitan asegurar el diseño y desarrollo de productos.

Los conceptos de industria 4.0 y manufactura inteligente, son relativamente nuevos y contemplan la introducción de las tecnologías digitales en la industria de la fabricación, extendiéndose a sectores sociales, de servicios y a un sector que estuvo por mucho tiempo degradado, la agroindustria. Estos nuevos conceptos exigen la incorporación al ambiente de manufactura y desarrollo de procesos de tecnologías como el internet de las cosas, la cibernética, la nube, el big data, redes de sensores inalámbricos, sistemas embebidos y dispositivos móviles, por mencionar algunos, aplicados a todos los procesos y sistemas conocidos, hoy el mundo necesita estar conectado, saber con certeza qué, cómo y quién lo hace (Tao, Zuo, Xu, & Zhang, 2014) (Xu, 2012) (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016).

Algunas de estas tecnologías, ya han sido utilizadas durante algunos años pero de forma aislada, lo cual no brindaba un alto impacto socioeconómico; sin embargo, su integración y las altas capacidades visualizadas es lo que las potencializa para transformar la industria de la manufactura, con procesos productivos totalmente integrados, automatizados y optimizados; y con resultados significativos en el mejoramiento de la eficiencia operativa y el desempeño organizacional, y que ha trascendido hasta sectores en los que la manufactura no incidía, pero que hoy presentan el mismo reto (Ningenia, 2016).

La agroindustria no ha quedado excluida del cambio, ya que la agricultura de hoy no sólo enfrenta el desafío de alimentar y vestir a la población mundial, sino también, suministrar combustibles y producir sin contaminar la atmósfera (De Simone, 2019). Hoy se exigen que los alimentos cumplan con normas y estándares altos para el consumo humano, ante esta situación y para minimizar estos factores, se crea la agricultura de precisión, que pone a prueba al unir áreas como la agronomía, la mecánica, la electrónica y la mercadotecnia, para asegurarle al productor el proceso de control del cultivo o la etapa de desarrollo de un animal, ante esta situación la Agroindustria 4.0 ha tomado fuerza, impulsando la aplicación de tecnologías disruptivas en este tipo de industria.

Ante este reto la adaptación de modelos matemáticos a procesos y el desarrollo de simuladores computacionales, han permitido que los procesos sean más certeros y eficientes, ya que, a través de éstos, se asegura que el diseño y comportamiento se acercan al teórico o ideal, de forma que se certifique que el producto agroindustrial cumpla con normas y especificaciones nacionales e internacionales, disminuye el trabajo ingenieril, al contar con parámetros y valores críticos de comportamiento, y genera certidumbre en el productor sobre su procedimiento.

El diseño de maquinaria agrícola ha sido muy compleja desde sus inicios, principalmente la mayoría de ellas se han iniciado con el método de prueba y error, y se han ido estableciendo los parámetros de diseño óptimos, este método ha llevado mucho tiempo en su desarrollo, las exigencias de la sociedad actual lleva a que se diseñen, se manufactures y den resultados en tiempos cortos, asegurando que el producto cumple especificaciones, ante estos retos la modelación y simulación juegan un papel primordial en la era 4.0.

El presente trabajo, muestra una vista de las diferencias que ha sufrido el diseño, de pasar de la ingeniería tradicional a la ingeniería mecatrónica, cómo evolucionó el concepto de diseño mecatrónico agrícola, mostrando una visión de la agricultura 4.0, o agricultura de precisión, estos conceptos y la aparición de software que permite modelar y simular, mediante modelos matemáticos, el comportamiento de un sistema, equipo o maquinaria, permitieron establecer parámetros críticos y simular un semillero para sembradora automática de precisión para charolas de germinación. Se presenta el modelo matemático aplicado y la simulación que permitieron establecer los valores óptimos de trabajo para el diseño del elemento agrícola.

4.1 El diseño tradicional vs el diseño mecatrónico

La Asociación Navarra para el Acceso a la Tecnología, presenta la siguiente información (anatec, 2017): *La ingeniería mecatrónica no es una nueva disciplina sino una metodología de trabajo que optimiza el diseño de sistemas electromecánicos. El diseño mecatrónico integra de manera sinérgica y concurrente todas las disciplinas que intervienen en el proceso de diseño.*

Un sistema mecatrónico incluye cuatro disciplinas fundamentales: tecnología eléctrica, mecánica, informática y control. La diferencia entre un sistema mecatrónico y un sistema multidisciplinar no son los elementos que lo componen, sino el método seguido para utilizarlas en el diseño.

Con estos argumentos resulta importante distinguir la metodología de trabajo que se tiene en el diseño tradicional, por mucho tiempo aplicado, y el nuevo enfoque al diseño mecatrónico, que exige un cambio de paradigmas y conceptos establecidos, en la tabla 4.1 se muestra la comparación entre el trabajo que se realizaba con la ingeniería tradicional contra la ingeniería en mecatrónica.

Tabla 4.1 Comparativo entre ingeniería tradicional vs ingeniería mecatrónica

Ingeniería tradicional	Ingeniería Mecatrónica
Grandes sistemas	Sistemas compactos
Mecanismos complejos	Mecanismos simplificados
Ciclos de movimientos no programables	Movimientos programables
Sincronización mecánica	Sincronización electrónica
Estructuras rígidas y pesadas	Estructuras más ligeras
Presición determinada por la tolerancia del mecanismo	Presición conseguida mediante respuesta
Control manual	Control automático y programable

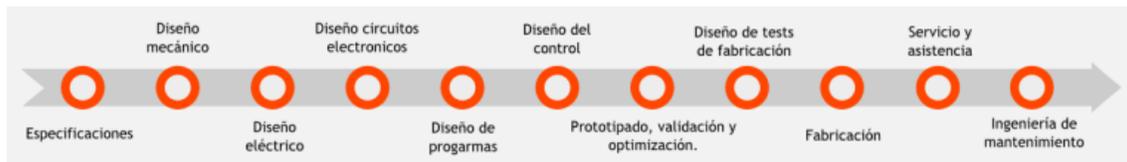
Fuente de Consulta: (Marcos Jiménez, 2012)

Contando con esta comparación, se puede observar que el diseño tradicional ha sufrido algunas modificaciones, en cuanto a la construcción y selección de materiales, no sacrificando la robustez del sistema, ambos modelos deberán de asegurar la eficiencia y funcionalidad, pero en cuanto a tamaños y espacios utilizados el diseño mecatrónico ha permitido el desarrollo de sistemas más pequeños y con un alto grado de control y automatización, ha generado certeza en los procesos, aún cuando los sistemas tradicionales siguen siendo muy utilizados, principalmente por industrias pesadas, en las cuales se requiere un ambiente de trabajo no muy limpio, o con grandes niveles de ruido e interferencias.

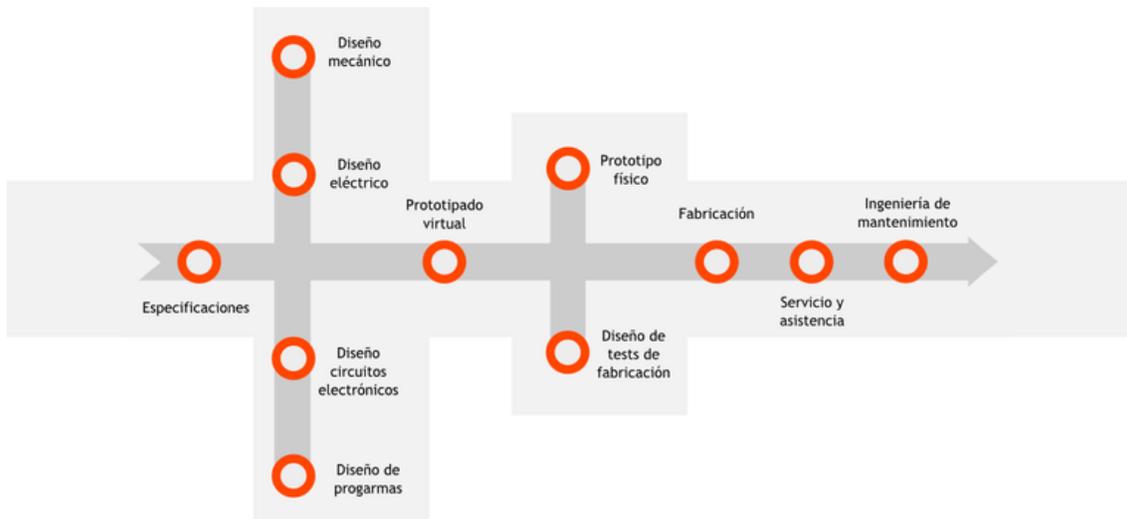
Ante esta situación la mecatrónica ha desarrollado elementos que son cada vez más resistentes a ambientes hostiles, y que permiten que se apliquen a áreas más complejas del conocimiento, como son salud, química, agropecuaria, alimentos, en donde se requieren controles de alta precisión, limpios y que se cumplan normas y especificaciones para el consumo o contacto humano.

En el tema del diseño tradicional contra el mecatrónico, los cambios han sido muy notables, ya que mientras en el tradicional se requería el trabajo de grupos multidisciplinarios, que generalmente trabajaban de manera aislada y posteriormente integraban los trabajos, lo que no siempre resultaba en éxito y se tenían que realizar modificaciones y mejoras, el llamado modelo lineal de trabajo, en el diseño mecatrónico, al contrario, el diseño se genera de forma paralela y siempre trabajando en equipo, ya que se ha visto que el tiempo de respuesta es mucho menor contra el tradicional.

En el esquema de la figura 4.1, se puede observar que en el apartado (a), la secuencia de trabajo en el desarrollo del diseño tradicional es completamente lineal, en donde cada especialista puede trabajar de manera aislada a los otros integrantes, esperando que termine la actividad de uno para iniciar la siguiente fase, situación que hacía más tardado, complejo y caro el procedimiento de diseño; mientras que en el apartado (b) la secuencia de trabajo del diseño mecatrónico muestra un avance significativo en la forma del trabajo, en donde de manera simultánea se pueden desarrollar etapas y ensamblar el proceso de manera colectiva, ya que no se trabaja de forma aislada, lo cual reduce tiempo y costos de trabajo.

Figura 4.1 Diseño tradicional vs diseño mecatrónico

(a) Secuencia de un diseño tradicional



(b) Secuencia de un diseño mecatrónico

Fuente de Consulta: (anatec, 2017)

La creación de prototipos virtuales, mediante el uso de modelos matemáticos y simulaciones computacionales, es un aspecto crucial del diseño mecatrónico. Esto permite explorar el comportamiento del sistema parcial o completamente antes de construir un prototipo físico, lo que influye en costos y tiempos, haciendo eficiente el proceso de diseño.

Ante este panorama, se genera una expectativa positiva de aplicación, en donde la aplicación de este nuevo esquema de trabajo ha incidido en todas las áreas de aplicación científico y tecnológico, expandiendo sus tentáculos a áreas que antes no eran tan simples ni sencillas de trabajar, como son el área alimenticia, de salud, agroalimentaria, agropecuaria, química, farmacéutica, que requería del diseño de sistema, equipos y maquinarias, pero que en muchas ocasiones requerían de su desarrollo de manera intuitiva, empírica y que su implementación era tardada y ocupaban espacios muy grandes, lo que ocasionaba que, en muchos casos, el proceso se hiciera de manera manual, o muy lento.

El avance tecnológico en elementos electrónicos más pequeños y robustos ha permitido generar sistemas, equipos y mecanismos más pequeños pero con la misma o mejor eficacia y eficiencia, sumando a esto las nuevas tecnologías disruptivas, en donde la aplicación de redes de trabajo, el internet de las cosas, la nube, la cibernética, han detonado una revolución aún mayor, ya que ahora se requiere que el proceso esté conectado en redes de trabajo, en donde en todo momento se tenga control sobre él, que asegure la trazabilidad del producto, y de nuevo esto llevó a la era 4.0, ha llegado y se ha extendido a todas las áreas, teniendo hoy que trabajar con Agricultura 4.0, Salud 4.0, Agroindustria 4.0, por mencionar algunas, en donde las redes sean confiables y seguras para el productor y el producto.

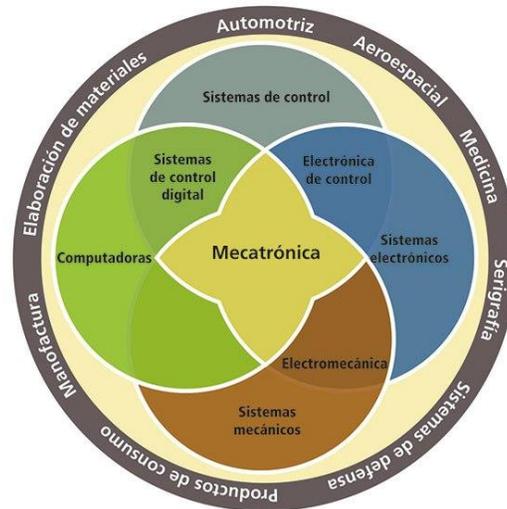
4.2 El diseño mecatrónico agrícola

En la metodología mecatrónica se trabaja con equipos interdisciplinarios de manera paralela, de forma colaborativa para el diseño, prototipado y construcción de sistemas, lo que ha llevado a contar con certeza y fiabilidad. Al combinar herramientas de diseño y software, se crean prototipos virtuales del sistema completo, lo que ocasiona que se conozca de forma completa, su funcionamiento, comportamiento y se lleguen a simular condiciones extremas, que permitan conocer el comportamiento, lo más cercano a la realidad.

Los datos medidos y los resultados de simulaciones, se utilizan como información adicional donde sustentar las decisiones. Aplicando un enfoque de diseño mecatrónico se consigue optimizar tanto el proceso de diseño como el producto final (anatec, 2017).

En la figura 4.1, se muestra el diagrama tradicional del conjunto y sinergia de la mecatrónica, lo que permite entender de forma más clara y simple el nuevo enfoque del diseño.

Figura 4.1 La sinergia de la mecatrónica



Fuente de Consulta: (anatec, 2017)

Y que al día de hoy este esquema se ha quedado corto, ya que la mecatrónica ha incidido en todas las áreas faltantes del conocimiento, de tal forma ha sido tal su influencia que se ha generado una nueva forma de trabajo, el diseño mecatrónico agrícola, utilizado para el diseño y desarrollo de sistemas, equipos, mecanismos, máquinas que permitan mejorar los procesos en el área de la industria de la agricultura, la agropecuaria, la agricultura de precisión, el control de biosistemas, la generación de ecosistemas controlados, por mencionar solo algunos.

4.3 Agroindustria 4.0 (Agrointeligencia)

El desarrollo de la máquina de vapor y de la mecanización de los procesos se considera como la primera revolución industrial, el descubrimiento y desarrollo de la electricidad con fines industriales se considera la segunda revolución industrial, la automatización de los procesos se considera la tercera revolución industrial, el uso de tecnologías disruptivas y la conexión a la red se considera la cuarta revolución industrial o industria inteligente, estos avances no han quedado solo en la industria manufacturera, sino que se ha esparcido por todas las áreas productivas, llegando también a la llamada Agroindustria 4.0, en la que actualmente se está inmerso y en la que se están presentando avances muy significativos científicos, tecnológicos y de innovación, con esto se supone una nueva configuración en la organización de los recursos y procesos (Ferrer, 2019).

El uso del internet de las Cosas (IoT – INTERNET of Things) para interconectar máquinas, software y personas; el uso de modelos de inteligencia artificial que posibilitan tomar decisiones automatizadas y el uso de modelos de simulación predictiva que permite planificar y optimizar recursos para maximizar rendimientos; define el marco conceptual SMART, que está definido como la interconexión global entre todos los elementos involucrados en la industria, y que se ha regado en múltiples aplicaciones.

Especificando para el ámbito del sector agroalimentario, es importante hacer notar que el avance en la gestión y el control de procesos, y este nuevo concepto de *Agrointeligencia*, ha provocado la creación de un nuevo marco de operación en el ámbito agroindustrial que no solo se ajusta a la confección o transformación del producto recolectado, sino que se extiende a toda la cadena de valor, desde la semilla hasta el producto puesto a disposición del consumidor final, o desde que nace el animal hasta su entrega (Ferrer, 2019).

Según la opinión de Lin Tsung-hsien, director del Consejo Ejecutivo de Agricultura (CoA) taiwanés, la agricultura se está volviendo cada vez más parecida a la manufactura, de tal forma que la agricultura 4.0 radicará en drones sobrevolando fincas cultivadas cuya función será monitorear el sano crecimiento de los cultivos y transmitir esos datos a la nube para realizar un análisis sobre el uso de los agroquímicos o los recursos hídricos, lo que se utiliza para minimizar los costos de producción y el impacto sobre el medio ambiente. Hoy los agricultores no necesitarán nada más que conectarse a la nube con un dispositivo móvil, en donde a través del análisis de Big Data, tendrán mejor control de sus cultivos, nutrientes y microelementos en el suelo, calendarios de irrigación, rotación de cultivos y otras condiciones que afectan el crecimiento del cultivo (Agrointeligencia, 2018).

Con mayor frecuencia se comprende, desarrolla y aplica en concepto de la agricultura inteligente, ya que supone una comunicación máquina a máquina (M to M) que permite controlar de forma remota diferentes labores en una instalación agropecuaria: activación de bombas de riego, electroválvulas u otra máquina o maquinaria presente en su explotación. Aunado a estas características, mediante la instalación de sensores agronómicos es posible conocer de manera más simple varios parámetros de los cultivos, como la temperatura o la humedad de suelo. Estos sensores se instalan en diferentes zonas de la parcela, al aire libre o protegida, y recogen información sobre los cultivos, permitiendo conocer en tiempo real las distintas necesidades de las plantas. Desde una red WiFi, que puede extenderse desde el domicilio del productor hasta la nave (invernadero) o parcela (cultivo al aire libre), y todos los dispositivos conectados a la red se pueden controlar cómodamente desde una PC, laptop, smartphone o Tablet, lo que hace flexible el proceso y asegura el producto final (Vallejo, 2016).

Ante esta situación, se ha tenido la necesidad de crear disciplinas que absorban este tipo de aplicaciones, de ahí la importancia del desarrollo y aplicación de la mecatrónica en la agroindustria, México no se puede quedar rezagado, ya que, a nivel internacional, el comercio exige la aplicación de tecnologías que aseguren la trazabilidad del producto final y en su caso, monitorear el proceso desde la siembra hasta la cosecha. En la figura 4.1 se observan algunas aplicaciones que se tienen en la Agrointeligencia o Agroindustria 4.0.

Figura 4.2 Agrointeligencia



Fuente de Consulta: (newfoodmagazine, 2019)

Este panorama presenta que la agricultura 4.0 cubre ámbitos de (Agrointeligencia, 2018):

- Asesoramiento o automatización de una gestión más eficiente del riego y la fertilización.
- Monitorización de cultivos desde drones, satélites o sensores en las fincas o animales.

- Explotan de unos volúmenes crecientes de datos con analítica avanzada y en entornos Big Data para generar previsiones de cosecha o probabilidad de incidencia de plagas.
- Interpretación agronómica de imágenes de satélites, drones o móviles por medio de herramientas de inteligencia artificial.
- Soporte en movilidad a los técnicos agrícolas en sus tareas de campo.
- Integración automática y bidireccional de datos con maquinaria agrícola, que convierten la agricultura de precisión en una realidad práctica.
- Control individual de cabezas de ganado, con múltiples parámetros vitales.
- Geolocalización de toda la actividad agrícola a través de herramientas GIS.
- Integración de flujos de información entre agricultores y sus empresas o cooperativas.
- Gestión de trazabilidad detallada desde el campo hasta el consumidor.
- Control de calidad de todos los alimentos y transparencia al consumidor final.

Este nuevo enfoque de la producción agropecuaria, lleva a repensar en los métodos de diseño, construcción y manipulación de sistemas y equipos agrícolas, de ahí la importancia de generar sinergias entre diversas disciplinas y áreas del conocimiento.

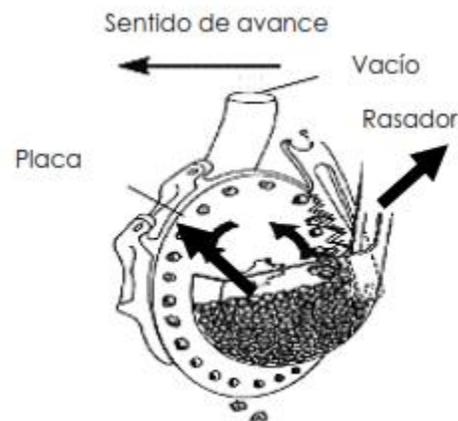
4.4 Sembradoras automáticas de precisión

La siembra de precisión está entendida como la colocación de las semillas, de manera, individual, en el suelo con el espaciado necesario, dependiendo de las plantas a sembrar, y hoy en el contenedor que se utilizará, ya que puede ser para cielo abierto o para charolas de germinación. Por lo general, los agrónomos, utilizan dispositivos manuales, que contienen una punta, llamados dibblers, para alcanzar esta precisión, pero de forma manual, hoy se requiere velocidad y certeza en el depósito de la semilla. Los dispositivos de siembra equipados con sistemas de medición, control y automatización de semillas individuales son llamados sembradoras de precisión (De Anda, 2018). Las sembradoras de placa horizontal con células en la periferia fueron los primeros plantadores de precisión desarrollados (Datta, 1974)

Ante este panorama se han desarrollado diseños de sembradoras de precisión, el propósito principal de la siembra de precisión es colocar la semilla a un cierto espacio y a una profundidad en el lecho de siembra. Estos dispositivos colocan las semillas en el espacio requerido y proporcionan una mejor área de cultivo por semilla. Hay dos tipos comunes de sembradoras de precisión: Banda y vacío.

Las sembradoras de precisión de vacío tienen una placa de medición con orificios de dosificación a un radio predeterminado. Se aplica vacío a estos agujeros y está dotada de una raza mecanizada en una placa de apoyo. A medida que la placa gira, el vacío aplicado a los orificios de medición les permite recoger las semillas de la tolva de semillas, como se puede observar en la figura 4.3

Figura 4.3 Sembradora de precisión de vacío



Fuente de Consulta: (Ortiz Cavañete, 1989)

Las sembradoras de vacío de precisión tienen las siguientes ventajas sobre las sembradoras mecánicas: una mejor calidad de trabajo menor tasa de daño a las semillas, mejor control y ajuste de mantenimiento y espectro más amplio de aplicabilidad, parámetros que permitirán su automatización de una forma más simple, siempre y cuando se conozcan los valores críticos de trabajo (Soos, Ssüle, & Füzzy, 1989).

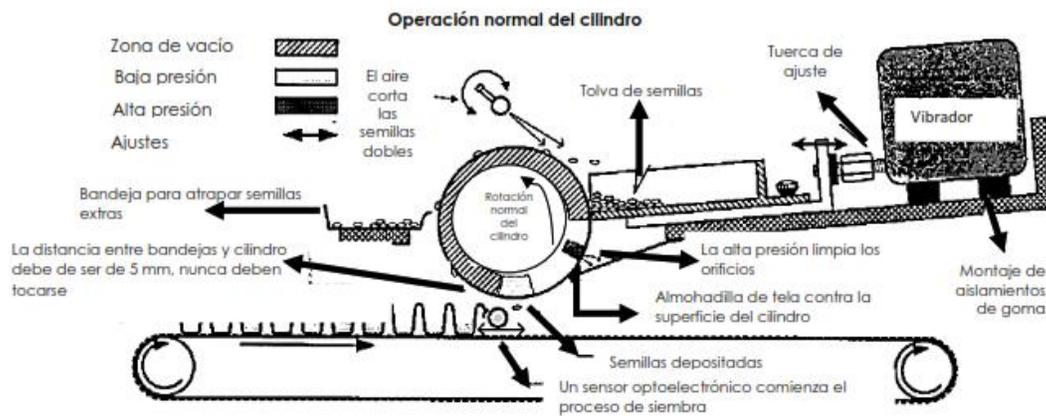
Una sembradora debe colocar una semilla en un ambiente en el que la semilla germina y emerge de forma confiable. Algunos de los factores que pueden afectar la separación de las plantas son, la calidad de la semilla, las condiciones del suelo, diseño sembrador y la habilidad del operador, todos ellos juegan un papel en la determinación de la posición final de la planta.

Algunos de los problemas detectados por el mecanismo de selección son: puede o no seleccionar o dejar caer una semilla, puede seleccionar y soltar múltiples semillas resultantes en los pequeños espaciamientos entre semillas (Karayek, Barut, & Ozmerzi, 2004).

Mientras que las sembradoras de banda, que se muestra en la figura 5.2, presentan todo un ciclo de trabajo bien identificado, de manera mecánica se puede identificar el ciclo de trabajo de la siguiente forma (Gaytán Ruelas, Serwatowsky, & Gracias López, 2004):

- a) Fase de separación, individualización o singulación de semillas
- b) Fase de carga o adhesión de las semillas.
- c) Fase de eliminación de semillas adheridas en exceso.
- d) Fase de transporte de las semillas adheridas o individualizadas, hasta las cavidades de la charola de siembra.
- e) Fase de descarga o eyección de las semillas en las cavidades de la charola.
- f) Fase de limpieza de los orificios de succión.

Figura 4.4 Sembradora de banda



Fuente de Consulta: (Gaytán Ruelas, Serwatowsky, & Gracias López, 2004)

Como se puede observar ya el avance mecánico está fundamentado, ahora está presente el reto de diseñar, desarrollar e implementar el sistema de control y automatización, sumado a la conexión a una red wifi, que permita el monitoreo constante del proceso de siembra, ya que éste es uno de los trabajos críticos, un mal proceso en el método dañará la semilla, lo cual presentará el problema de que no germine y sean pérdidas para el productor.

Considerando que una semilla, aproximadamente, en el mercado, dependiendo del cultivo que se desee obtener, está en un costo de \$5.00 MXN, razón que hace que los productores sean muy quisquillosos al momento de la siembra, ya que las pérdidas por una semilla maltratada resultan ser altas. Esta situación lleva a pensar en un cambio en el proceso de siembra, dejar la forma manual e iniciar un proceso de mecanización, y hoy se requiere monitorear el proceso de siembra, sin necesidad de estar presentes en el lugar. Situación que afianza el trabajo de migrar hacia la Agroindustria 4.0.

4.5 Dosificador de semillas

Un sembrador, rodillo dosificador o semillero, es el elemento que permite contener y dirigir la semillas hacia el conducto de siembra, dependiendo del tipo de sembradora que se elija, en el caso a tratar se considera una sembradora de banda, por lo que el semillero, o dosificador de semillas será considerado como un rodillo que hace que las semillas solo experimentan fuerza centrífuga y la aceleración de la gravedad.

La ecuación que expresa la fuerza de la semilla es (Álvarez Lorenzo, 2003):

$$F_{\text{semilla}} = (r\omega^2 + g)m \quad (1)$$

Donde:

$$F_{\text{semilla}} = \text{Fuerza de la semilla, } N$$

ω = velocidad del rodillo, rad/s

r = radio del rodillo al centro de la celda, m

g = aceleración de la gravedad, 9.81m/s^2

m = masa de la semilla, kg

El caudal de vacío requerido en la succión se basa en las condiciones de velocidad del rodillo y en el área total de las celdas.

El caudal de aire se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = V_{\text{rodillo}} \times A_{\text{total}} \times r \times N_{\text{tolva}} \times F.S. \quad (2)$$

Donde:

V_{rodillo} = velocidad de giro del rodillo, rad/s

A_{total} = área total del número de celdas que pasan por la zona de succión

r = radio del rodillo

N_{tolva} = número de tolvas requeridas

$F.S.$ = factor de seguridad

La presión de vacío requerido se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{\text{vacío}} = \frac{F_{\text{semilla}}}{Q} V \times \text{número de celdas} \quad (3)$$

Donde:

F_{semilla} = fuerza ejercida por la semilla, N

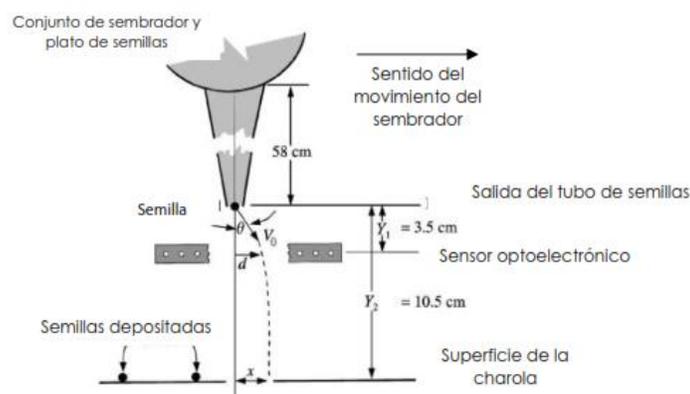
Q = caudal de succión, m^3/s

V = velocidad con que fluye el aire, $m/s = 0.3133m/s$, previamente determinada por Álvarez (2003).

Esta teoría resultaba ser un tanto inexacta y no consideraba algunos parámetros importantes en el comportamiento de la semilla dentro del rodillo.

Ante esta situación, en 1999, se presenta una investigación en donde se desarrolla un sistema de sensor opto-electrónico para la medición de la uniformidad en el espaciamiento en la siembra de la semillas (Lan, Kocher, & Smith, 1999). En donde se muestra el modelo construido, y que respeta el comportamiento de tiro parabólico, siendo el comportamiento real de la semilla, medido en el momento de la caída, el cual se muestra en la figura 6.1.

Figura 4.5 Modelo desarrollado por Lan, Kocher y Smith para medir el comportamiento de la semilla



Fuente de Consulta: (Lan, Kocher, & Smith, 1999)

En su modelo consideran como variables principales las siguientes:

La velocidad de la semilla (V_0) a la salida del tubo, utilizando la conversión de energía de potencial a cinética:

$$V_0 = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

La distancia de caída a la salida del tubo se determinó utilizando las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado y tiro parabólico:

$$Y_1 = V_0(\cos\theta)t_1 + 0.5gt_1^2 \quad (5)$$

En donde resolviendo para un tiempo positivo, se obtiene:

$$t_1 = \frac{-V_0 \cos \theta}{g} + \sqrt{\left[\frac{V_0 \cos \theta}{g}\right]^2 + \frac{2Y_1}{g}} \quad (6)$$

Se resuelve para t_1 y mediante análisis numérico se determina el ángulo θ , una vez teniendo estos resultados, se calcula para t_2 en la distancia Y_2 .

Pero en este modelo no se consideran los parámetros de presión, ni el comportamiento de la semilla dentro del torbellino, por lo que asegura su posicionamiento en la charola, pero no asegura que la semilla no se dañe al no considerar la presión y la fuerza a la salida.

4.6 La modelación

En este trabajo se considera que la concentración de partículas es baja, ya que solamente se considera la cantidad necesaria para poder generar la siembra de la charola en un solo ciclo de trabajo, lo que lleva a suponer que el acople fluido-partículas es simple. Además de suponer un medio turbulento y aplicar el modelo que se acerque a la simulación deseada.

Para la simulación del flujo de aire en el conducto se plantean las ecuaciones de Navier-Stokes resueltas con una técnica de Reynolds Average Navier-Stokes (RANS) standard, con un modelo de turbulencia $k - \varepsilon$ (Wilcox, 1994), siendo el número de Reynolds en el flujo entre 42000 y 170000. Se supone que el gradiente de velocidades del aire no se verá afectado por la presencia de partículas del tamaño de los granos (Tashiro, 2001). El algoritmo es estacionario y se resolverá con la técnica de CFD para el dosificador de semillas.

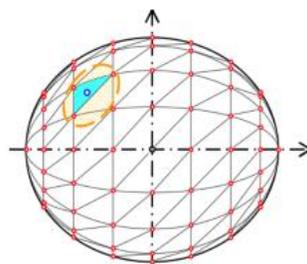
Para el conducto se tomaron las siguientes consideraciones, un tubo de sección circular de diámetro 0.065 m (ver figura 4.1) compuesta por un tramo horizontal y un codo ascendente. El grano se consideró como sólido de revolución siendo el valor de sus tres semiejes 0.0030m, 0.0030 m y 0.0030 m (ver figura 4.2) , siendo su peso específico de 1200 kg/m^3 . El grano ingresa por un orificio por la parte superior del conducto con velocidad inicial.

Figura 4.6 Esquema general del modelo



Fuente: Autoría propia ANSYS

Figura 4.7 Modelo del grano

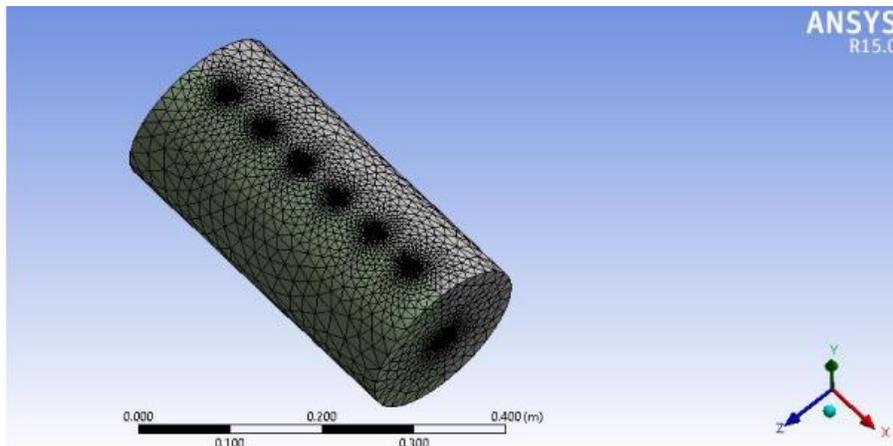


Fuente: Autoría propia ANSYS

Las condiciones de contorno son presiones a la entrada del tubo que permiten el desarrollo del flujo turbulento si se considera un conducto suficientemente largo. En las paredes laterales y sobre el grano se adopta flujo normal nulo.

Se utilizan elementos tetraédricos de segundo orden en velocidades y de primer orden en presiones, con mallas refinadas en la proximidad del grano. En la figura 4.8 se muestra un sector del mallado tridimensional alrededor del grano en un tubo de 0.040 m de diámetro.

Figura 4.8 Malla tridimensional en un conducto de 0.040m de diámetro con refinamiento en la zona del grano



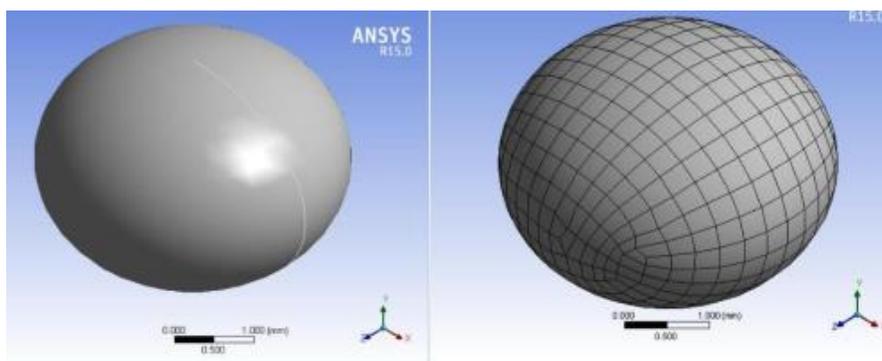
Fuente: Autoría propia ANSYS

4.7 Simulación mediante la técnica dinámica de fluidos computacionales CFD

Para el grano El cálculo se realiza solamente con las presiones porque la componente de la fuerza viscosa del aire se considera despreciable, bajo estos principios se genera el análisis cinemático del comportamiento del grano.

Para el cálculo de la fuerza de sustentación, se modelizó la frontera de la misma, utilizando ANSYS R15.0 con elementos de superficie de 3 lados. Se definieron en total 544 nodos y 543 elementos de superficie, ver figura 4.9.

Figura 4.9 Mallado sobre el grano

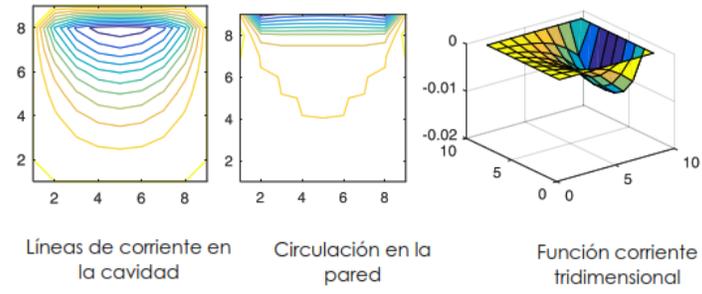


Fuente: Autoría propia ANSYS

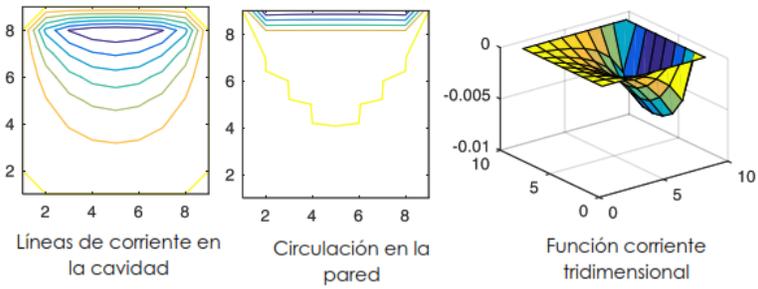
Para considerar la mejor velocidad de flujo del grano se hicieron pruebas, bajo diferentes velocidades recomendadas. Las condiciones de contorno son presiones a la entrada del tubo que permiten el desarrollo del flujo. En las paredes laterales y sobre el grano se adopta flujo normal nulo, para este caso se mantiene constante la presión de vacío en 32.763 Pa, que es la recomendada por Gaytán (2004).

Esta situación se puede observar en la figura 4.10, casos a, b, c, d, e, f y g, en donde se puede apreciar que las velocidades adhieren el grano al cilindro durante la etapa de vacío, o generan fenómenos que provocan que la semilla no asegure su adherencia, y por lógica no efectúe el trabajo requerido.

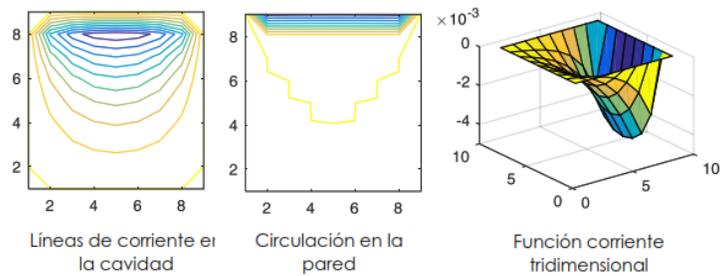
Figura 4.10 Respuesta en velocidad del grano



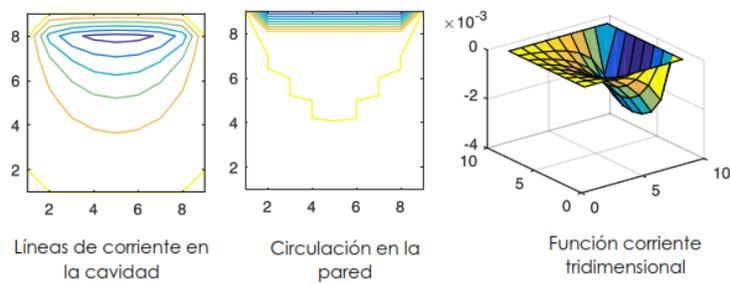
(a) Respuesta a velocidad de 0.3133 m/s



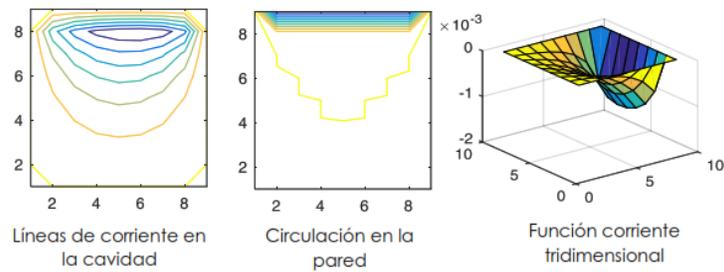
(b) Respuesta a velocidad de 0.6266 m/s



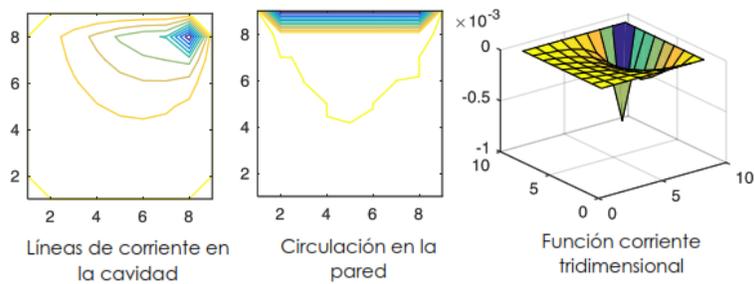
(c) Respuesta a velocidad de 0.9399 m/s



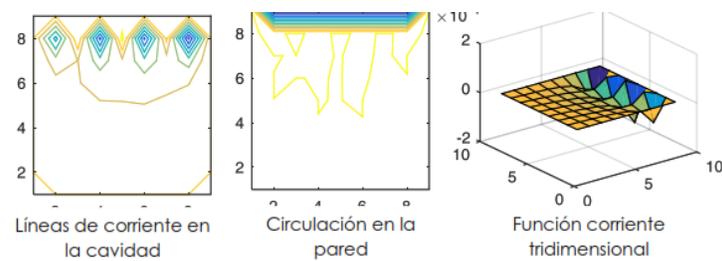
(d) Respuesta a velocidad de 1.725 m/s



(e) Respuesta a velocidad de 3.45 m/s



(f) Respuesta a velocidad de de de 6.9 m/s



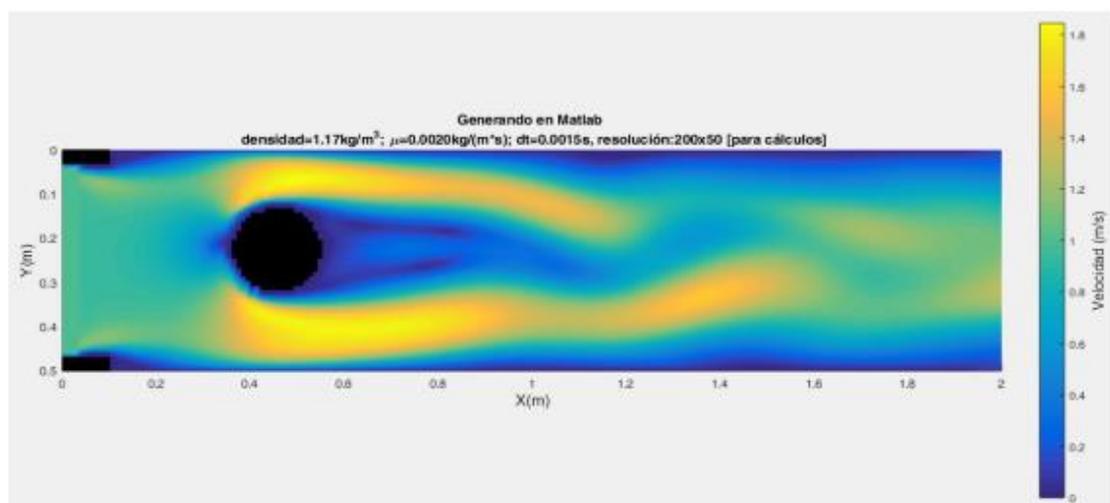
(g) Respuesta a velocidad de de de 13.8m/s

Fuente: Autoría propia Matlab

Es importante resaltar que las velocidades menores de 1 m/s permiten que la semilla se adhiera de manera efectiva al orificio, ante esta perspectiva se puede resumir que las velocidades óptimas de trabajo serán 0.3133 m/s , 0.6266 m/s y 0.9399 m/s , ya que como se puede observar mientras más se incrementa la velocidad la adherencia se pierde, presentándose fenómenos no deseados.

Bajo esta premisa, se genera el modelo con el que se comprobó el resultado en presión y velocidad en el conducto de aire y sobre el grano. Se desarrolló simulación, en Matlab R2015a, considerando los parámetros de diseño y resolviendo según Navier Stokes caso $k - \epsilon$. En la figura 4.11 se presenta el comportamiento entre el cilindro y el grano con respecto a la velocidad del flujo.

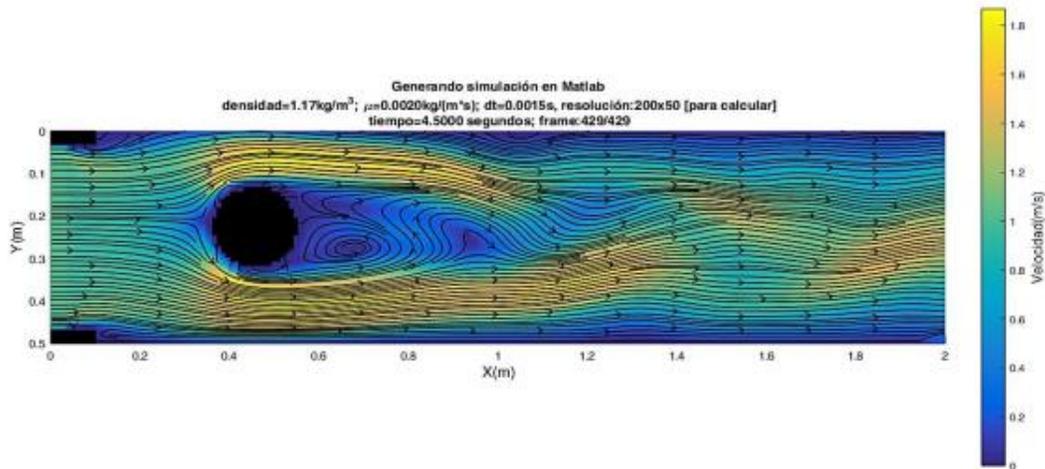
Figura 4.11 Interacción grano-cilindro



Fuente: Autoría propia Matlab

Se puede observar que de nuevo la velocidad de trabajo óptima que garantice la adherencia del entre el grano y el cilindro está en el orden de 0.3 y 1 m/s , lo que garantiza que el comportamiento del grano sea el que se busca, es decir que se asegure que en el lugar del orificio, se generen las condiciones de trabajo necesarias para que el grano permanezca adherido en la etapa de trabajo. En la figura 7.7 se observan las líneas de campo de la velocidad alrededor del grano, lo que nuevamente asegura el proceso de adherencia, considerando la presión constante de 32.763 Pa .

Figura 4.12 Comportamiento del flujo de aire al inicio del proceso y a 0.015 segundos después



Fuente: Autoría propia Matlab

4.8 Conclusiones

Involucrar a la mecatrónica en el área agroindustrial ha sido un acierto y una enorme necesidad, ya que por muchos años se ha considerado a ésta desligada de la industria manufacturera, pero hoy requiere de procesos perfectamente bien diseñados y alineados, que deben de tener control en todas las etapas del proceso.

El diseño y construcción de maquinaria agrícola siempre ha sido muy compleja y empírica, muchos datos se han obtenido por la construcción de modelos de laboratorio, que permiten medir valores bajo técnicas específicas, como la colocación de cámaras de alta resolución, sistemas de visión, sensores especiales, por lo que como resultado a esta situación se ha iniciado el diseño de manera experimental.

Este trabajo en específico generó más interrogantes que respuestas, pero que al iniciar la resolución de estos problemas abrió una puerta muy grande de conocimientos, no es sencillo generar modelos de sistemas que ya existen en el mercado, pero que no cuentan con un análisis, una modelización y una simulación.

El área agropecuaria es un área que no ha sido considerada, por lo menos en nuestro país, con la importancia y relevancia que debe de tener, a pesar de ser considerado como un pueblo que sustenta su economía en la agricultura. Ante esta situación este tipo de trabajos ha empezado a tener un gran desarrollo, ahora se inicia el proceso inverso, de la máquina existente, se desarrollan equipos de prueba, a los cuales se le han colocado sistemas que miden y obtienen datos de diseño, es decir iniciamos de forma contraria, ya que hoy se está iniciando el proceso de modelación y simulación del sistema, de tal forma que permitan generar certeza en el proceso de diseño, seleccionando los parámetros más adecuados.

4.9 Referencias

Agrointeligencia. (5 de 07 de 2018). <http://www.agrointeligencia.com.mx>. Recuperado el 4 de 03 de 2020, de <http://www.agrointeligencia.com.mx/taiwan-agricultura-tecnologia-inteligente/>

Álvarez Lorenzo, J. A. (2003). Diseño conceptual de un dosificador de semillas hortícolas sembradas en charolas de germinación. *Tesis de licenciatura*. Saltillo, Coahuila: UAAAN.

anatec. (18 de 02 de 2017). <http://anatec.org>. Recuperado el 2020 de 04 de 19, de <http://anatec.org/disenio-mecatronico-vs-diseno-tradicional/>

Datta, R. K. (1974). Development of some seeders with particular reference to pneumatic seed drills. *The Harvester, Indian Institute of Technology*, 26-29.

De Anda, R. (08 de 2018). Modelación y simulación de sistema dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación. Lerma, Estado de México, México: CIATEQ.

De Simone, M. (2019). Qué es la mecatrónica aplicada a la agricultura. pág. 2.

Ferrer, R. (2019). <https://www.agrointeligencia.com/>. Recuperado el 05 de 03 de 2020, de <https://www.agrointeligencia.com/agroindustria-4-0/>

Gaytán Ruelas, J. G., Serwatowsky, J., & Gracias López, C. (2004). Sistema de máquinas para el proceso tecnológico de producción de plántulas en invernadero. *Memorias del XIV congreso nacional de ingeniería agrícola*. Saltillo, Coahuila: UAAAN.

Karayek, D., Barut, Z. B., & Ozmerzi, A. (2004). A. Mathematical modeling of vacuum pressure on a precision seeder. *Biosystems Engineering*, 437-444.

Lan, Y., Kocher, M. F., & Smith, J. A. (1999). Opto-electronic sensor system for laboratory measurements of planar seed. *J. Agric. Engr. Res.*, 119-127.

Marcos Jiménez, M. B. (2012). Ingeniería mecatrónica vs ingeniería tradicional. Universidad Politécnica de Puebla.

Nereida. (2017). <http://nereida.deioc.uill.es>. Obtenido de <http://nereida.deioc.uill.es/~pcgull/ihiu01/cdrom/matlab/contenido/node5.html>

newfoodmagazine. (2019). <https://www.newfoodmagazine.com/>. Recuperado el 15 de 01 de 2020, de <https://www.newfoodmagazine.com/news/105382/report-outlines-opportunities-for-agtech-amidst-evolving-demand/>

Ningenia. (31 de 05 de 2016). www.ningenia.com. Recuperado el 15 de 06 de 2018, de <http://www.ningenia.com/2016/05/31/que-es-la-industria-4-0/>

Ortiz Cavañete, J. (1989). *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Madrid, España: Mundi Prensa.

Soos, P., Süle, Z., & Füzy, J. A. (1989). A comparative evaluation of modern sugar beet drills. *Bulletin of the University of Agricultural Science*, págs. 166-170.

Tao, F., Zuo, Y., Xu, L., & Zhang, L. (2014). IoT-Based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1547-1557.

Tashiro, H. (2001). Effect of mixing gas fine particle suspension flow with small amount of coarse ones in horizontal pipe. *International Journal of Multiphase*, 2001-2013.

Vallejo,|| C. (24 de 10 de 2016). <https://www.madrimasd.org/>. Recuperado el 10 de 01 de 2020, de https://www.madrimasd.org/blogs/sostenibilidad_responsabilidad_social/2016/10/24/132596

Wilcox, D. C. (1994). *Turbulence modelling for CFD*. California, USA: DCW Industries.

Capítulo 5 Control de movimiento de los divisores de salida de un separador tipo espiral usando IoT

Chapter 5 Motion control of output splitters of a spiral separator using IoT

ESTRADA-RUIZ, Rosa Hilda†* & FLORES-CAMPOS, Rubén

*Tecnológico Nacional de México/IT Saltillo. Departamento de Posgrado e Investigación.
TERMOPLÁSTICOS REMI S.A. DE C.V.*

ID 1^{er} Autor: Rosa Hilda, Estrada-Ruiz / **ORC ID:** 0000-0002-1315-0708, **CVY CONACYT ID:** 172600

ID 1^{er} Coautor: Rubén, Flores-Campos / **ORC ID:** 0000-0001-7538-1547, **CVU CONACYT ID:** 94697

DOI: 10.35429/H.2020.5.78.91

R. Estrada, R. Flores

rhestrada@itsaltillo.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Los divisores de salida en los separadores tipo espiral son manipulados manualmente por los operadores para realizar la separación de mineral. La posición de estos separadores es establecida por la inspección visual del flujo de mineral identificando la estratificación de partículas en la salida, o bien, por el análisis químico del mineral según el yacimiento de procedencia, que define la distribución de densidades de las partículas, estableciendo un ángulo de posición para cada uno de estos. Un sistema de control de movimiento de los divisores mediante servomotores controlados con una Tarjeta Arduino e interfaz gráfica en Matlab con conexión directa del sistema, así como un sistema de control inalámbrico usando conexión vía Bluetooth bajo una aplicación Android mostraron restricciones en la viabilidad del sistema de control, por lo que en este trabajo de investigación se propone un sistema de movimiento de los divisores utilizando motores a paso controlados a través de una página Web enlazada a una tarjeta Arduino con monitoreo en la salida en tiempo real empleando una video cámara bajo un esquema IoT. Esta opción mostró que el monitoreo y control de los separadores de salida puede ser realizado vía remota desde cualquier dispositivo conectado a internet en cualquier parte del mundo y monitorear la sección de salida y los cambios en tiempo real reduciendo el tiempo de respuesta para realizar los cambios en los divisores cuando cambian las características del mineral en la alimentación mejorando la eficiencia de separación.

Monitoreo, sistema de control, separador tipo espiral, IoT.

Abstract

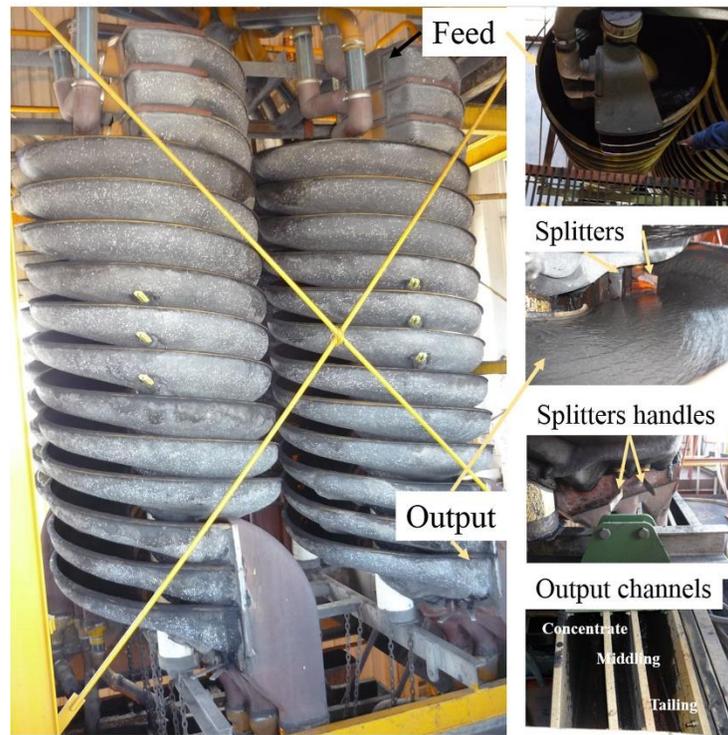
The output splitters in the spiral separators are manually manipulated by the operators to perform ore separation. The position of these separators is established by the visual inspection of the mineral flow identifying the stratification of particles at the outlet, or by the chemical analysis of the mineral according to the source deposit, which defines the distribution of densities of the particles, establishing a position angle for each of these. A system of movement control of the splitters by means of servo motors controlled with an Arduino card and graphical interface in Matlab, with direct connection of the system, as well as, a wireless control system, using Bluetooth connection under an Android application showed restrictions on the viability of the control system. This research paper proposes a system of movement of the splitters using servomotors controlled through a web page linked to an Arduino card with real-time output monitoring using a video camera under an IoT scheme. This option showed that monitoring and controlling the output separators can be performed remotely from any internet-connected device anywhere in the world, as well as, monitor the output section and changes in real time reducing the response time to make changes to the splitters when the characteristics of the mineral in the feed tank change improving separation efficiency.

Monitoring; control system; spiral separator; splitters; IoT.

5. Introducción

The Carboniferous Region, located in Northern Mexico, contributes 95% to the national production of mineral coal used in the industry of electricity generation, as well as in the metallurgical industry. In this region there are several plants that perform coked and coal washing activities through which quality of the product (coal) must be ensured; one of the coal cleaning stages is gravimetric separation by spiral type separators. The spiral separator used in mineral coal processing, operates under the principle of differences in particle densities and centrifugal force to perform the separation of valuable mineral from gangue (¹Bazin et al., 2016; ²Boucher et al., 2014; ³Dixit et al., 2015). This device is shown in Figure 1.1 and consists of an open helical channel that descends and is fastened on its inner side to a certain inclination. In the output there are two dividers or splitters that are responsible for channeling the particles to the concentration channels according to their densities.

Figure 5.1 Spiral separator and its output section.



The main parameters of this separation process consist in the feed flow rate of the mineral pulp, density of the pulp and the position of the splitters at the outlet (⁴Atasoy and Spottiswood, 1995; ⁵Burt and Ottley, 1974; ⁶Tripathy and Rama Murthy, 2012). Generally speaking, the mineral pulp is fed into the propeller and centrifugal forces perform stratification of the particles. Denser particles flow to the inner part of the spiral and low-density particles on the outside, presenting a mixture of the two in the middle (⁷Doheim et al., 2013; ⁸Sadeghi et al., 2016). The splitters in the outputs are placed in different positions to channel the particles to the containers corresponding to the concentrate, media and tails. This is one of the most efficient simple and environmentally friendly devices, which can be used as a simple system or under different configurations with two or more spirals in the same tower (Ibid 4; ⁹Falconer, 2003; ¹⁰Kwon et al., 2017; Ibid 6).

It has been reported that the position of the splitters in the output has an important influence on the quality of the concentrate. These positions may improve or worsen the degree of the concentrate, or the degree may increase by sacrificing recovery by a certain amount. Some research has been carried out to establish the stratification of particles in the fluid using tracers, as well as establish their behavior on their way through the spiral to manipulate the splitters and perform an efficient recovery (¹¹Boucher et al., 2016, Ibid 2). The locations of the splitters can be established by monitoring using artificial vision capable of detecting the interfaces between particle densities, in the case of ilmenite and chromite minerals (¹²Nienaber et al., 2017; ¹³Nienaber and Auret, 2016). The splitters are handled manually or by actuator devices that are directly operated at the separator output (Ibid 13).

In order to propose an option for the position of the output splitters, Estrada-Ruiz et al. (¹⁴Estrada-Ruiz et al., 2015), developed a motion control system for the splitters using a direct connection of two servo motors linked to a Arduino Uno card by means of a graphical interface in the Matlab software and thus establish the angle of position of the splitters according to the source of the coal ore considering a simultaneous movement of the servomotors. The servomotors were connected to the Arduino Uno card and this in turn to the computer, so it was necessary to have all the equipment in the same space as the spiral output and there make the movement modifications.

Subsequently, Estrada-Ruiz et al. (Ibid 14), proposed another option to perform the movement control of the splitters with different degrees of movement for each servomotor, as well as its control remotely. This was done by using the ATMEGA328P-PU microcontroller of the Arduino Uno card, an RN-41 FLY-477 Bluetooth device, and an Android system Electronic Tablet.

The card link with the Bluetooth communication module was established and the tablet with the Android system was subsequently synchronized with the card using the AMARINO program. With this, the tablet was set to monitor mode, which allowed data to be sent to the microprocessor through the module and thus enable the outputs and indicate the degrees that the splitters were desired to move. The method of establishing communication with the Tablet and Arduino card was the one presented by Kaufman and Buechley (¹⁵Kaufmann and Buechley, 2015), which allows to communicate Android systems with Arduino microcontrollers. This requires the AMARINO application and an Arduino library called MeetAndroid. This application sends data from mobile devices with Android system using a graphical interface to a specific Arduino by handling Bluetooth connections.

Estrada Ruiz et al. (Ibid 14), designed and built a laboratory-level spiral prototype in which connections of both systems were made for testing and separating mineral coal (Figure 5.2).

Figure 5.2. System of monitoring and control of the movement of splitters by direct and remote connection via Bluetooth (Ibid 145).



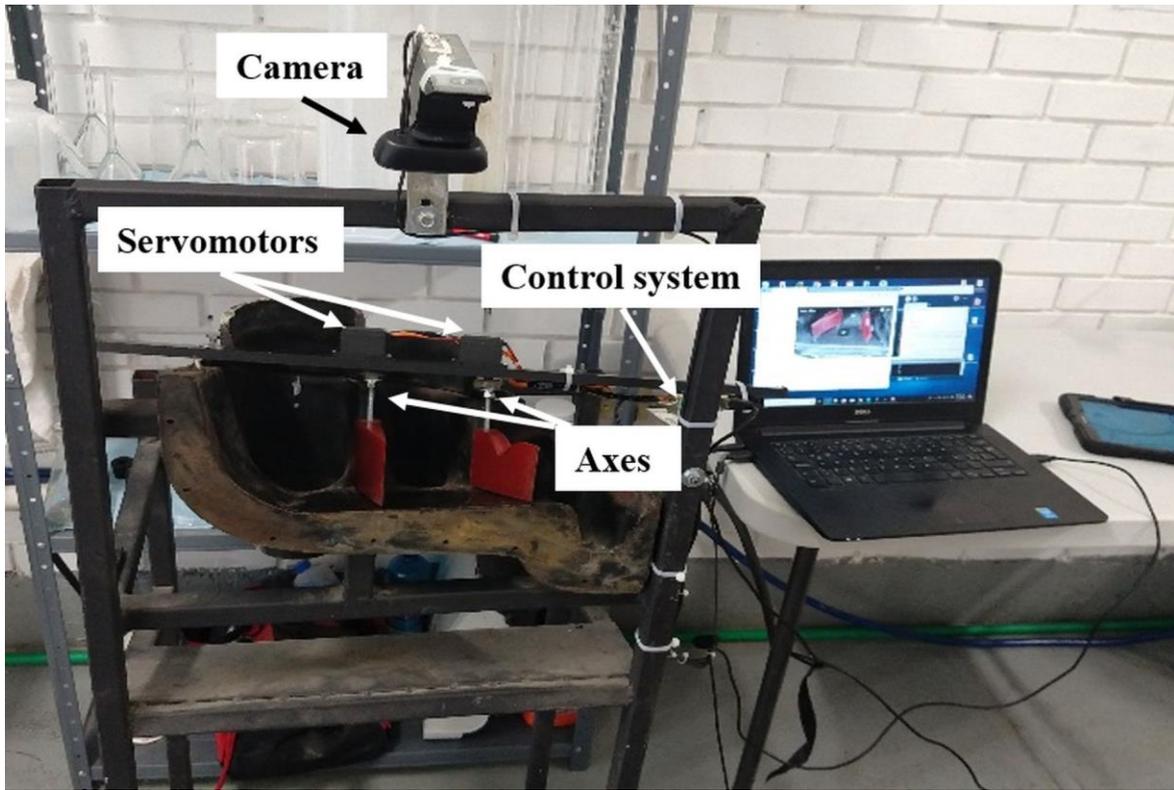
However, these control options proved unfeasible because operators had to continue to move to the control system at the spiral output to make changes to the splitters, moving large distances, when the option was direct connection control. On the other hand, the option of remote control via Bluetooth with an Android System was also discarded by users due to communication interferences by structures and distances in the plant. For this reason, the Research work herein proposes a system of movement control of splitters via the Internet of Things (IoT) with the support of monitoring by camcorder in real time, and with options of movement of splitters, by source deposit or by indicating degrees of movement specified by the user. This will allow to control not only the spiral output splitters from anywhere in the world, with access to internet, but also a near-immediate response time to make the changes required by the process.

5.1 Methodology

5.2 Experimental device

The device used for experimental tests is an industrial spiral output section, which was donated by a company from the Carboniferous Region of Coahuila, Mexico. This device has three outputs: concentrate, media and tails, as well as two splitters that allow the flow to be routed to each of the outputs. This device was installed with two servomotors, connected to each of the splitters, a control system and a video camera, as shown in Figure 5.3.

Figure 5.3 Output section of the spiral separator with motion control system and video camera.



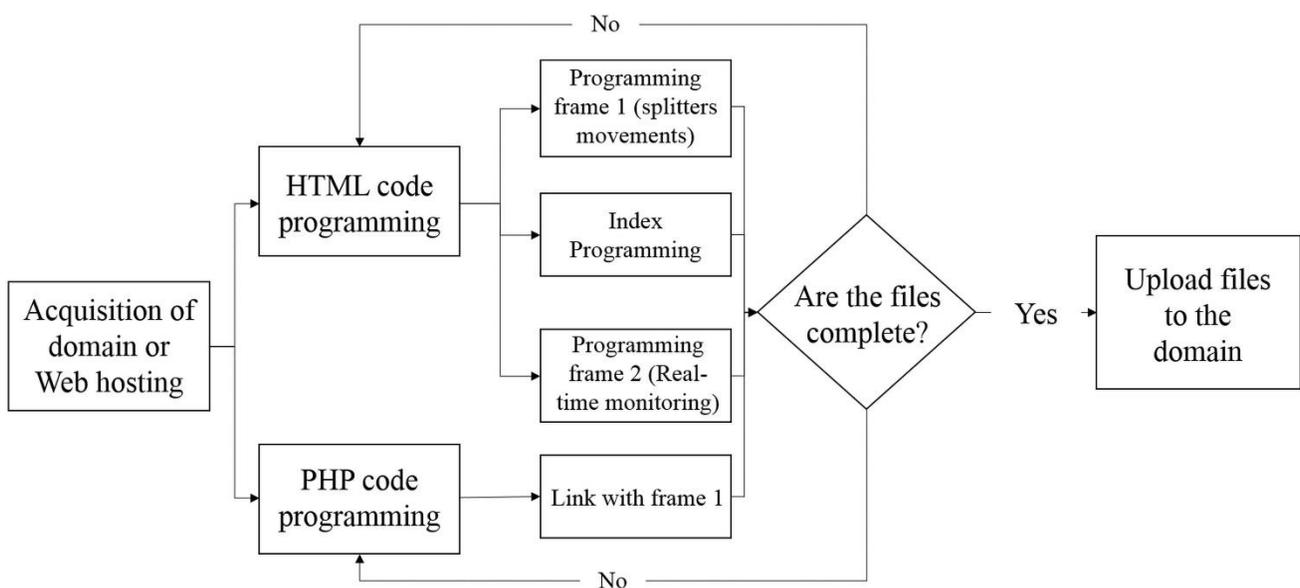
P

5.3 Programming

5.4 Website

The diagram in Figure 5.4 shows how to program a web page with the particular case of the motion control site. First, a domain was acquired proceeding to simultaneously program PHP code and HTML (Powers, 2010). The HTML program was divided into boxes for data refresh topics, once split it was verified that its functions were operated correctly in order to subsequently upload the files into the domain by means of a file manager to carry out performance tests. PHP code is the dynamic configuration of the page where user-machine interaction is allowed.

Figure 5.4 Sequence to program web page.

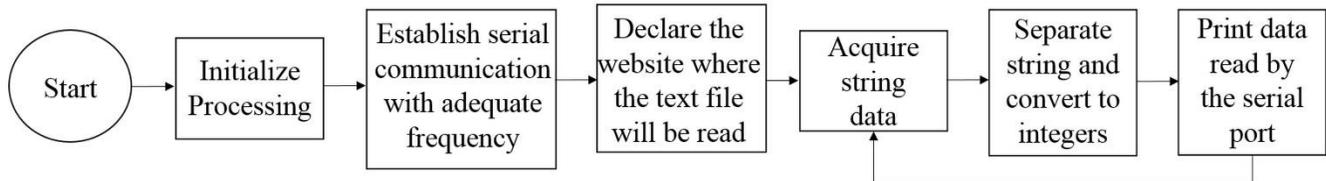


5.5 Programming in the Processing software to communicate with the Arduino card

The diagram in Figure 2.3 shows the programming process in the Processing software, the first thing was to start the program to subsequently establish serial communication with the Arduino card.

For the communication to generate, both frequencies must be the same otherwise the communication will not exist. Afterwards, the website from which the information will be obtained was stated; information is obtained in a chain way that allows to separate the values and convert them to integers. Once the values have been converted, they are printed by the serial port, which will send the information to the Arduino card.

Figure 5.5 Programming sequence in Processing.



5.6 Streaming video via a streaming channel

For video transmission a free server such as YouTube was used, which allows, with the use of an account, to perform live transmission and emission (broadcasts); broadcasts of up to 8 hours were performed for the tests carried out in this research.

In order to make a transmission a YouTube account was created, once logged on the YouTube page the following procedure was carried out: Get in the section “create a video or a post”, then choose the option “transmit live,” then proceeded to extract the embed code which is located in the share section, there is a link to share the transmission. This embed code was introduced to the web page that was created for this work, so that when you enter on the website, it will give you the option to start viewing the live broadcast.

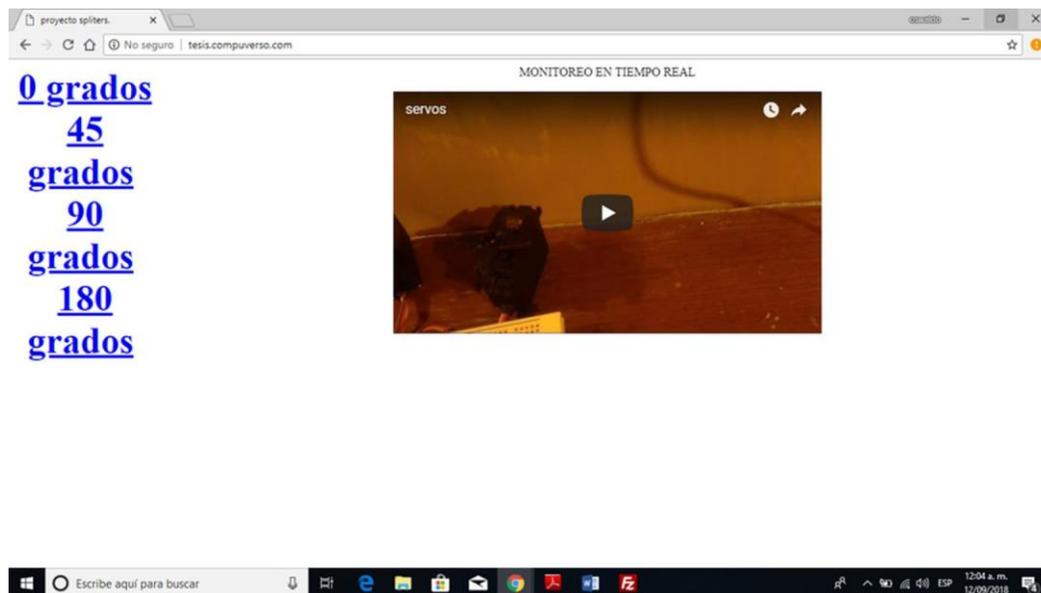
5.7 Results

On a visit to a mineral coal washing plant, it was indicated that the movements of the output splitters are carried out manually by the operators and that they have to move considerable distances from where they are and climb approximately 15 m to the location of the spiral separators. The determination of the splitters’ position is carried out in two ways, one of which is when a chemical analysis of the ore is carried out according to the source deposit and the positions of the splitters are established based on the separation experience for the densities presented. The other option is when the position of the splitters is set based on the experience of the operator in the visual inspection of flow at the output section.

5.8 Website programming with motion control with angles set

To create the web page, the HTML code was programmed to show what the user sees when accessing the page. The page was divided into two parts, one for data and another for the video, so that the video signal was not interrupted in real time when updated as data were sent. On the page, two frames were created, the first shows the page titles, it aligns the text, presents the links regarding the degrees of movement of the servomotors (0°, 45°, 90°, and 180°). The second frame displays the real-time monitoring title and the real-time video of the separator output system (Figure 3.1). In the Processing software, programming was carried out to be able to monitor the value that is saved on the web page, interpret it and compare it with the conditionals that were set for the movement of the splitters. Based on these conditionals, the signal is sent through the serial port so that the Arduino Uno card interprets and performs the indicated movement actions on the servo motors according to the degree of motion assigned. To power the servo motors, PWM port enabling was included in the programming of the card microcontroller for each port, the communication frequency was established, thus being able to read the serial port, to assign variables, values of degrees of motion and conditionals. Part of the programming code is shown in Appendix 1.

Figure 5.6 Website with preset servo motor movement degrees and real-time monitoring.



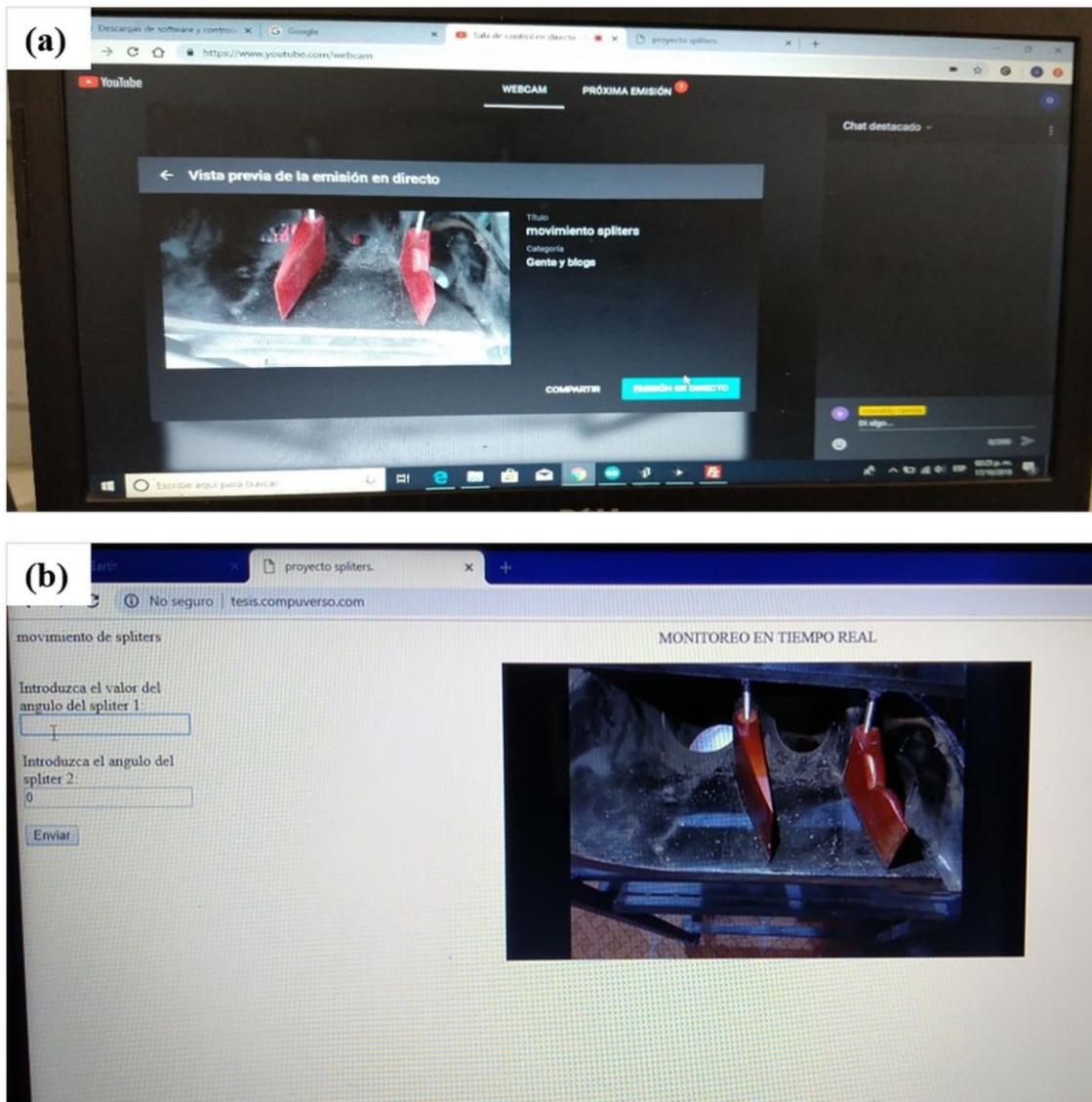
5.9 Programming of web page with motion control with position angles indicated by the user

In this part of the work, the movement of the splitters was considered independently with user-specified angles of motion. For this, changes were made to the programming on the web page in order to create data forms to input the value of degrees for the movement of each splitter. In addition, the PHP code was modified to be able to read the data of these forms and state the variables that are entered in the text boxes to be monitored.

Significant changes were made in the Processing software programming section, one of them was to set the synchronization times between Processing and Arduino, as well as being able to assign values for each splitter. The serial port connection was limited to the moment when only the values entered change, for this purpose auxiliary variables were used to store the data and compare them when new values are received and thus make the change of the angle of the splitter by moving the servomotors. This program reads the value entered on the website and prints it by the serial port, it first starts the servo motor 1 and waits for a while to print the next data from servo motor 2, because if the two data were printed simultaneously the microprocessor would not be able to identify which servomotor to move. On the Arduino card the programming in question was changed from the way the order was sent from the movements of the servomotors. To do this, a direct connection was established, without conditionals, to perform free movements of each, establishing that the data of the servomotor one and then the two must be read first.

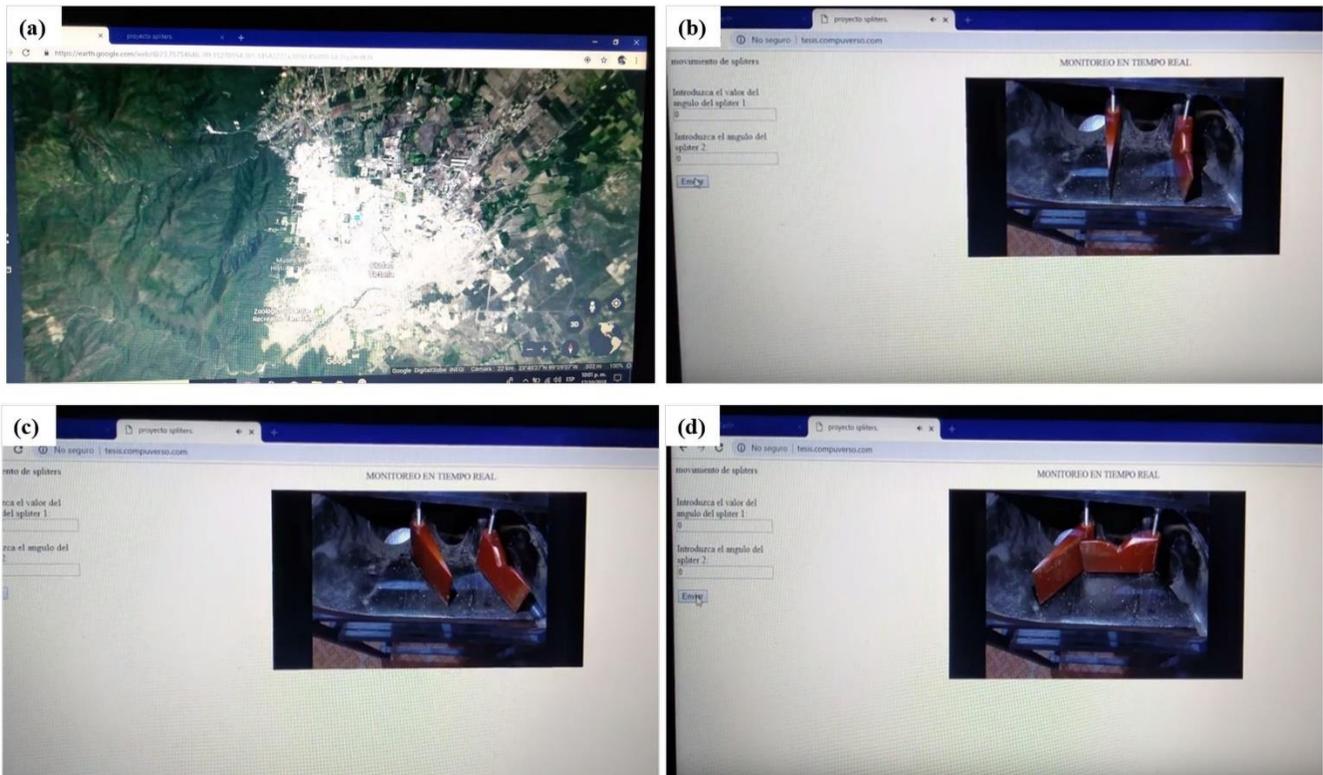
For video transmission, a YouTube channel was used to access a free channel that would allow to upload video and live streams, hence the Embed code that is added to the monitoring page to be able to view the channel. Figure 3.2a) shows a screenshot image of the YouTube web page in which the real-time transmission of the splitters is observed; the code is extracted from this page. This code is inserted into the web page and, along with the options to enter the degrees of movement of each servomotor, you can observe how the splitters move to new positions after the angle data are fed in the corresponding section (Figure 5.7 b). Part of the programming code is presented in Appendix 2.

Figure 5.7 (a) Channel on YouTube for real-time monitoring and (b) web page with text boxes to set the degrees of movement of splitters and real-time monitoring



To validate the proper functioning of the system, a test was performed in which a person controlled the movement from Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico, controlling a sequence of values in the servomotors. First, the location of the computer equipment was determined (Figure 5.7 a); then, the web page was accessed and the values in degrees of motion were entered with reference to the starting position in which the servomotors were located. These were the observations: When the values are entered and the option “Enviar” is clicked, the movement of the first servomotor is performed and then the second, since these movements, as mentioned above, are not simultaneous. When the splitters reach their new position, the spaces for entering new values in the text box have a value of zero, this to determine that the new "zero" position of the splitters is presented in the current condition. By re-entering new values and operating "send" or “Enviar”, the servomotors will rotate the defined degrees generating a new "zero" position of the servo motors. Figures 3.3b, 3.3c, and 3.3d show different positions of the splitters, obtained by the movement of the servo motor 1 and servo motor 2 in 90°: 90°, 70°: 70°, and 120°: 165° degrees, respectively.

Figure 5.8 Real-time manipulation of the output splitters, (a) location of the access to the website, (b) position at 90° , (c) position at 70° and (d) position 120° splitter 1 and 165° splitter 2



It should be noted that in the programming of the page conditionals were introduced to prevent the splitters from colliding with each other, so that when you enter a value that creates this problem, the page will display an error, and ask for a new value or datum.

At the moment, we are working with a graphical interface that does what this work involves, including image analysis techniques that allow to determine the stratification of the particles in the fluid and therefore its dividing interface in order to take the best decision of position angles to get a better degree in recovery in mineral coal washing.

5.10 Conclusions

It is feasible to create a dynamic web page to monitor the output section of a spiral type separator in real time.

It is also feasible to control the movement of the separator output splitters remotely anywhere in the world from any internet-connected device.

The feasibility of defining the angle of position in each of the splitters increases the efficiency of mineral separation at the spiral output.

The immediate adjustment of the splitters ensures a more effective recovery and grade of mineral avoiding losses in the quality of the final product with respect to the manual adjustment that is performed conventionally in a Processing plant.

The use of this technology eliminates interference caused by buildings, cables, structures and other obstacles that prevent the signal from reaching the splitter control system.

The incorporation of IoT into mineral benefit processes in spiral separators increases process efficiency by including real-time monitoring and control.

5.11 Acknowledgements

The authors acknowledge the Tecnológico Nacional de México for financing this project with registration key 5143.19-P, as well as the Instituto Tecnológico de Saltillo for the facilities granted to carry out this project.

5.12 References

- Atasoy, Y., Spottiswood, D.J., 1995. A study of particle separation in a spiral concentrator. *Miner. Eng.* 8, 1197–1208. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(95\)00084-4](https://doi.org/10.1016/0892-6875(95)00084-4)
- Bazin, C., Sadeghi, M., Renaud, M., 2016. An operational model for a spiral classifier. *Miner. Eng.* 91, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.09.024>
- Boucher, D., Deng, Z., Leadbeater, T., Langlois, R., Renaud, M., Waters, K.E., 2014. PEPT studies of heavy particle flow within a spiral concentrator. *Miner. Eng.* 62, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.12.022>
- Boucher, D., Deng, Z., Leadbeater, T., Langlois, R., Waters, K.E., 2016. Observation of iron ore beneficiation within a spiral concentrator by positron emission particle tracking of large ($\text{Ø}=1440\mu\text{m}$) and small ($\text{Ø}=58\mu\text{m}$) hematite and quartz tracers. *Chem. Eng. Sci.* 140, 217–232. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.10.018>
- Burt, R.O., Ottley, D.J., 1974. Fine gravity concentration using the Bartles-Mozley concentrator. *Int. J. Miner. Process.* 1, 347–366. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(74\)90005-2](https://doi.org/10.1016/0301-7516(74)90005-2)
- Dixit, P., Tiwari, R., Mukherjee, A.K., Banerjee, P.K., 2015. Application of response surface methodology for modeling and optimization of spiral separator for processing of iron ore slime. *Powder Technol.* 275, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.068>
- Doheim, M.A., Abdel Gawad, A.F., Mahran, G.M.A., Abu-Ali, M.H., Rizk, A.M., 2013. Numerical simulation of particulate-flow in spiral separators: Part I. Low solids concentration (0.3% & 3% solids). *Appl. Math. Model.* 37, 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.02.022>
- Estrada-Ruiz, R., Flores-Campos, R., Ramos-Cano, D., Velarde-Sánchez, E., 2015. Control de movimiento de los divisores de salida de un separador tipo espiral empleando conexión directa y remota. *Rev. Apl. la Ing.* 2, 215–223.
- Falconer, A., 2003. Gravity Separation: Old Technique/New Methods. *Phys. Sep. Sci. Eng.* 12, 31–48. <https://doi.org/10.1080/1478647031000104293>
- Kaufmann, B., Buechley, L., 2015. Amarino : A Toolkit for the Rapid Prototyping of Mobile Ubiquitous Computing. <https://doi.org/10.1145/1851600.1851652>
- Kwon, J., Kim, H., Lee, S., Cho, H., 2017. Simulation of particle-laden flow in a Humphrey spiral concentrator using dust-liquid smoothed particle hydrodynamics. *Adv. Powder Technol.* 28, 2694–2705. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.07.022>
- Nienaber, E.C., Auret, L., 2016. Spiral Concentrator Interface Monitoring through Image Processing: Optimization for Parameter Selection. *IFAC-PapersOnLine* 49, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.104>
- Nienaber, E.C., McCoy, J.T., Auret, L., 2017. Spiral Concentrator Interface Monitoring Through Image Processing: A Statistical Learning Approach. *IFAC-PapersOnLine* 50, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.12.010>
- Powers, D., 2010. *PHP Solutions Dynamic Web Design Made Easy*. New York.
- Sadeghi, M., Bazin, C., Renaud, M., 2016. Radial distribution of iron oxide and silica particles in the reject flow of a spiral concentrator. *Int. J. Miner. Process.* 153, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.06.003>

Tripathy, S.K., Rama Murthy, Y., 2012. Modeling and optimization of spiral concentrator for separation of ultrafine chromite. Powder Technol. 221, 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.01.035>

Appendix 1. Website programming with motion control with angles set.

PROGRAMACIÓN DE PÁGINA WEB PARA EL MOVIMIENTO DE LOS DIVISORES CON ÁNGULOS PREESTABLECIDOS			
Programación en HTML	Programación en PHP	Programación en Processing	Programación en tarjeta Arduino
<p>Frame 1 movimiento de servomotores</p> <pre><html> <head> <title>movimiento de servomotores</title> titulo de la pagina </head> <body> <p align="center"> alineación del texto 0 grados /link o vinculo referente a 0 grados 45 gradoslink o vinculo referente a 45 grados 90 grados /link o vinculo referente a 90 grados 180 grados link o vinculo referente a 180 grados </p></pre> <p>Frame 2 monitoreo en tiempo real</p> <pre><html> <head> <title>monitoreo</title> titulo de la pagina </head> <body> <body background="logo.jpg"> imagen de fondo <p align="center"> MONITOREO EN TIEMPO REAL texto mostrado en el sitio </p></pre>	<pre><?php \$onoroff = \$_GET["state"]; // declaramos la variable proveniente del archivo de html \$textfile = "servostate .txt"; // se declara la localización del archivo de texto. \$fileLocation = "\$textfile"; \$fh = fopen(\$file Location, 'w') or die("Something went wrong!"); // se abre el archivo de texto y se sobrescribe el valor anterior. \$stringToWrite = "\$onoroff" ; // se escribe la variable dependiendo de cual sea la selección en el index. fwrite(\$fh, \$stringToWrite); // escribimos en el</pre>	<pre>import processing.serial.*; se importa la libreria Serial port; se declara el nombre del serial void setup() { configuracion port = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600); // se declara el Puerto serial y se configure a la frecuencia adecuada para trabajar. } void draw() { rutina String onoroff[] = loadStrings("http://servomov.w. pw/movimientostate.txt"); // la variable adquiere el valor leyéndolo de la página de internet. print(onoroff[0]); // se imprime el valor if (onoroff[0].equals("1") == true) { se compara el valor recibido println(" - 90 grados"); se imprime el valor para conocimiento port.write('1'); // se imprime el valor en el puerto serial } else if (onoroff[0].equals("2") == true) { println(" - 135 grados"); port.write('2'); } else if (onoroff[0].equals("3") == true) { println(" - 180 grados"); port.write('3'); }</pre>	<pre>#include<Servo. h> // se incluye la libreria para manejar servomotores int incomningByte; // se declara la variable entera Servo myServo;//se declara el nombre del servomotor void setup();// iniciamos la configuración de la tarjeta { myServo.attach(5);// se asigna una salida al servomotor Serial.begin(960 0);// se inicializa la comunicación serial con una frecuencia. } void loop();// comienza la rutina que realizará la tarjeta constante { if (Serial.available()>0)// instruccion para revisar si la comunicación serial está disponible {</pre>

<pre><center> <object type="application/x-shockwave-flash" data="http://www.justin.tv/swflibs/JustinPlayer.swf ?channel=oswaldo2329" id="live_embed_player_flash" height="300" width="400" bgcolor="#000000"><param name="allowFullScreen" value="true"/><param name="allowScriptAccess" value="always" /><param name="allowNetworking" value="all" /><param name="movie" value="http://www.justin.tv/swflibs/JustinPlayer.sw f" /><param name="flashvars" value="hostname=www.justin.tv&channel=oswaldo 2329&auto_play=false&start_volume=25" /></object>Watch live video from oswaldo2329 on www.justin.tv Codigo Fuente del canal de video para monitoreo </center> </body> Index <html> <head> <title>proyecto splitters.</title> titulo de la pagina </head> <frameset cols="200,100%"border=0> división de las columnas <frame name="movimientos" src="frame1.html">selección de frame y ubicación <frame name="monitoreo" src="frame2.html">selección de frame y ubicación <noframes> <p>Si tu navegador no acepta frames, estarás viendo este mensaje. ¡Lo sentimos!</p> </noframes> </frameset></pre>	<pre>archivo de texto el valor fclose(\$fh) ; \$para = 'servostate. txt'; header("Lo cation: index.html "); // regresa a (index.htm l) ?></pre>	<pre>else { println(" - cero grados"); port.write('0'); } delay(3000); //tiempo de espera para imprimir el valor }</pre>	<pre>inconmingByte= Serial.read();// se lee el Puerto serial y se asigna a la variable. myServo.write(1);// se asigna a el servomotor el valor de 1 if (inconmingByte =='0')// se compara la variable si es igual a cero { myServo.write(1);// se asigna al servo el valor de 1 grado. } if (inconmingByte =='1')// si la variable es igual a 1 { myServo.write(4 5);// se asigna al servo el valor de 45 grados } if (inconmingByte =='2')// si la variable es igual a 2 { myServo.write(9 0);// se asigna al servo el valor de 90 grados } if (inconmingByte =='3')// si la variable es igual a 3 {</pre>
---	--	--	--

			<pre> myServo.write(180); // se asigna al servo el valor de 180 grados } } } </pre>
--	--	--	---

Appendix 2. Programming of web page with motion control with position angles indicated by the user.

MODIFICACIÓN EN LA PROGRAMACIÓN DE PÁGINA WEB PARA EL MOVIMIENTO DE LOS DIVISORES CON ÁNGULOS INTRODUCIDOS POR EL USUARIO			
Programación en HTML	Programación en PHP	Programación en Processing	Programación en Arduino
<pre> <html> <head> <title>movimiento o servomotores</title> </head> <body> <form name="formulario oDatos" method="post" action="Le.php"> cuerpo de la pagina se declara el formulario y se hace referencia al archivo php con el cual se enlazara. <p> movimiento de splitters </p>
 Introduzca el valor del angulo del splitter 1: <input type="text" name="onoroff" value="">
 primer formulario
 Introduzca el valor del angulo del splitter 2: <input type="text" name="onoroff2" value="">
 segundo formulario
 <input name="enviar" id="enviar" value="Enviar" </pre>	<pre> <?php if(\$_POST["enviar"] == "Enviar"){ se compara si los datos fueron enviados \$ang1 = \$_POST["onoroff"]; se asignan nombres a las variables del html \$ang2 = \$_POST["onoroff2"]; if(!empty(\$ang1) and !empty(\$ang2)){ como ya no estan vacios las variables se procede a escribir en el archivo de texto los valores. \$textfile = "movimientostate.txt"; \$fileLocation = "\$textfile"; \$fh = fopen(\$fileLocation, 'w') or die("Something went wrong!"); \$stringToWrite = "\$ang1"."n"."\$ang2"; fwrite(\$fh, \$stringToWrite); fclose(\$fh); header("Location:frame1.html"); } else{ header("location:frame1.html"); exit; } </pre>	<pre> import processing.serial.*; añade libreria Serial port; se nombra el puerto int e=1; se declaran variables int i=1; int aux1=i; las variables se igualan para utilizar variables auxiliares int aux2=e; void setup() { configuracion del Puerto port = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600); } void draw() { String x[] = loadStrings("http://servomov.w.pw//movi mientostate.txt"); lectura del valor i=int(x[0]); se convierte la cadena a entero e=int(x[1]); se convierte el segundo dato a entero if(i!=aux1 && e!=aux2) se compran el valor de las variables { port.write(i); se imprime en el puerto con un delay de un segundo delay(1000); port.write(e); se imprime el Segundo valor por el puerto aux1=i; las variables auxiliares adquieren los nuevos valores </pre>	<pre> #include<Servo.h> se incluye la libreria del servo int inconmingByte; declaracion de variables int inconmingByte2; declaracion de variables int mov; declaracion de variables int mov2; declaracion de variables Servo myServo; se declaran el nombre de los servos Servo myServo2; se declaran el nombre de los servos void setup() { myServo.attach(5); se asigna la salida para los servomotores myServo2.attach(4); se asigna la salida para los servomotores Serial.begin(9600); comunicacion del Puerto serial } void loop() { </pre>

<pre>type="submit" /> </form> </body> </html> botón de enviar</pre>	<pre>?></pre>	<pre>aux2=e; print(x[1]+"\n"); imprimimos los valores en la pantalla para monitoreo print(x[0]+"\n"); }}</pre>	<pre>if (Serial.available(>0) si el Puerto esta disponible prosigue con la funcion { inconmingByte=Serial.read(); lee el Puerto y lo asigna a una variable mov=inconmingByte; se asigna el valor a otra variable myServo.write(mov); se manda mover el valor de la variable el primer servomotor delay(1200); con un retraso de un Segundo inconmingByte2=Serial.read(); se vuelve a leer el valor del Puerto mov2=inconmingByte ; se asigna a la otra variable myServo2.write(mov2); se imprime en el segundo servomotor delay(1000); con un retraso de un Segundo } }</pre>
---	------------------	---	--

Capítulo 6 Ingeniería de Software Basada en Búsqueda en Líneas de Productos de Software

Chapter 6 Search-Based Software Engineering in Software Product Lines

TRUJILLO-TZANAHUA, Guadalupe Isaura†*, CORTÉS-VERDÍN, Karen y JUÁREZ-MARTÍNEZ, Ulises

*Tecnológico Nacional de México/I. T. Orizaba, Oriente 9, Emiliano Zapata Sur, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México.
Facultad de Estadística e Informática. Universidad Veracruzana, Av. Xalapa esq. Ávila Camacho S/N, Xalapa, Ver. C.P,
91020 México*

ID 1^{er} Autor: *Guadalupe Isaura, Trujillo-Tzanhua* / **ORC ID:** 0000-0002-6957-4251, **CVU CONACYT ID:** 412364

ID 1^{er} Coautor: *Karen, Cortés-Verdín* / **ORC ID:** 0000-0002-6453-180X

ID 2^{do} Coautor: *Ulises, Juárez-Martínez* / **ORC ID:** 0000-0002-5911-3136 , **CVU CONACYT ID:** 85999

DOI: 10.35429/H.2020.5.5.92.116

G. Trujillo, K. Cortes y U. Juárez

gtrujillot@ito-depi.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Actualmente, la construcción del software avanza hacia la industrialización sustituyendo la forma de desarrollo a la medida por el empleo de enfoques como Líneas de Productos de Software (LPS) y Multilíneas de Productos de Software (MPL). Estos paradigmas establecen un medio de producción común para generar una variedad de productos a través de la reutilización de insumos y automatización de procesos y de este modo satisfacer las necesidades y requisitos del mercado en lugar de enfocarse a clientes específicos. Sin embargo, la gestión de múltiples LPS o MPL es un desafío porque la cantidad variante de productos de software posibles a obtener expresada en los modelos de características suele ser grande por las combinaciones de características. Por esta razón no es factible configurar, implementar o probar todas las posibles variantes de productos. Para apoyar este proceso de decisión, en el presente capítulo se investiga y aplica una variante del problema de la mochila. Específicamente, la configuración de productos en una MPL se formula como un problema de la mochila multidimensional de opción múltiple (MMKP, Multiple-Choice Multi-dimensional Knapsack Problem) y se resuelve con una técnica de Ingeniería de Software Basada en Búsqueda (SBSE). En primer lugar, se proporciona una revisión de técnicas de búsqueda y optimización con el propósito de ofrecer elementos de aplicación práctica para el desarrollo de productos de software apoyándose de LPS e Ingeniería de Software Basada en Búsqueda. Posteriormente, se implementa en Python un algoritmo genético para resolver el problema de la configuración de productos en MPL.

Ingeniería de Software, Líneas de Productos de Software, SBSE, Algoritmos genéticos

Abstract

Currently, software construction is moving towards industrialization by replacing the custom form of development with the use of approaches such as Software Product Lines (SPL) and Multiple Software Product Lines (MPL). These paradigms establish a common means of production to generate a variety of products through the reuse of inputs and automation of processes and thus meet the needs and requirements of the market instead of targeting specific customers. However, the management of multiple SPLs or MPLs is a challenge because the variant number of possible software products to be obtain expressed in the feature models is often large due to feature combinations. For this reason, it is not feasible to configure, deploy, or test all possible product variants. To support this decision-making process, this chapter investigates and applies a variant of the knapsack problem. Specifically, product configuration in an MPL is formulated as a Multiple-Choice Multi-dimensional Knapsack Problem (MMKP) and is solved with a Search-Based Software Engineering (SBSE) technique. First, a review of search and optimization techniques is provided to offer practical application elements for the development of software products based on SPL and Search-Based Software Engineering (SBSE). A genetic algorithm is then implemented in Python to solve the problem of configuring products in MPL.

Software Engineering, Software Product Lines, SBSE, Genetic algorithms

6. Introducción

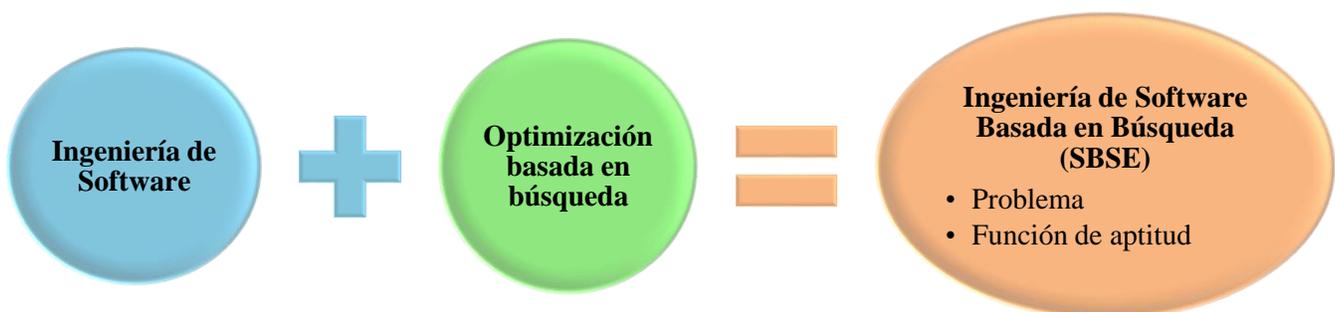
Actualmente, las empresas necesitan innovar continuamente sus productos o introducir nuevos en el mercado para mantener o mejorar el nivel de rentabilidad. Por otro lado, los clientes demandan productos de mejor calidad, menor precio y entrega más corta. Para mantener la participación en el mercado, las empresas requieren cambiar la forma en que los productos son diseñados, fabricados y entregados. En este sentido, la industria del software evoluciona constantemente utilizando enfoques para la generación automática y personalización en masa de software conocidos como Líneas de Productos de Software (LPS) y Multilíneas de Productos de Software (MPL). Estos enfoques tienen su origen en un contexto diferente al software, específicamente en las líneas de productos de industrias como la automotriz, química, metalúrgica, y electrónica, entre otras. En estas industrias se fabrica una variedad de productos a través de la reutilización de insumos y automatización de procesos con el fin de incrementar la productividad y al mismo tiempo reducir los costos de desarrollo y comercialización.

En los últimos años, la industria del software se ha encargado de automatizar las fases del desarrollo de un proyecto de software a través de diversas herramientas y enfoques como las LPS y MPL.

Asimismo, los desarrolladores de software han explorado sinergias con otras áreas y técnicas que contribuyen a la resolución de problemas y toma de decisiones complejas mediante la modelación de problemas de búsqueda y resolución a través de estrategias de optimización como los algoritmos genéticos, enjambre de partículas, recocido simulado, colonia de hormigas, entre otros.

Un problema de búsqueda es aquel en el que se buscan soluciones óptimas o casi óptimas en un espacio de búsqueda de soluciones candidatas, guiado por una función de aptitud que distingue entre soluciones mejores y peores. La formulación de problemas de búsqueda y aplicación de técnicas de optimización para su solución en el contexto de software se denomina Ingeniería de Software Basada en Búsqueda (SBSE, search-based software engineering). La **Figura 6.1** ilustra los elementos que integran a la Ingeniería de Software Basada en Búsqueda.

Figura 6.1. Elementos de la Ingeniería de Software Basada en Búsqueda



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Según Harman, un enfoque de SBSE requiere de dos elementos para formular un problema de software como problema de búsqueda (Harman & Jones, 2001): 1) la representación del problema, para permitir su manipulación por el algoritmo de búsqueda y 2) una función de aptitud para evaluar la calidad u optimalidad de las soluciones que generalmente se basan en métricas de software.

Generalmente, los problemas de software se caracterizan porque no existe una única solución exacta por la existencia de un gran espacio de búsqueda (por ejemplo, cantidad de diseños posibles, casos de prueba o configuraciones), en el que es necesario equilibrar y resolver posibles conflictos entre múltiples objetivos y restricciones.

El objetivo de la búsqueda es identificar, entre todas las posibles soluciones, una que sea lo suficientemente buena según las métricas apropiadas (Harman, 2012; Harman & Clark, 2004; Harman & Jones, 2001). Por consiguiente, es natural pensar que la mayoría de los problemas en la Ingeniería de Líneas de Productos de Software (SPLE, Software Product Line Engineering) son problemas de optimización. Esto debido a que la variabilidad de las LPS expresada en los modelos de características convierte el análisis manual en una tarea costosa y propensa a errores porque crea un gran espacio de búsqueda en el que es posible buscar opciones de productos óptimas (o casi óptimas).

En la literatura, existen diversas publicaciones que exploran la aplicación de técnicas de SBSE en diversas actividades del ciclo de vida de las LPS como la selección de características óptimas, la generación de pruebas, la arquitectura, entre otros. Estas técnicas y aplicaciones resultan interesantes para enfrentar algunos desafíos que es posible surjan al implementar o gestionar LPS ya que la cantidad de variantes de los productos de software suele grande, por lo que no es factible configurar, implementar o probar todas las posibles configuraciones (variantes de productos) y por lo tanto es más complejo visualizar o probar todas las configuraciones.

A pesar de la experiencia obtenida en la industria, los ingenieros de LPS reconocen que es necesario que estas LPS evolucionen o se reutilicen en una nueva LPS denominada MPL, la cual permite modificar los productos de las LPS originales sin poner en riesgo su funcionamiento original. Asimismo, se detectan diversas áreas de oportunidad, especialmente en la fase de análisis de los modelos de características de las LPS, diseño de la MPL y pruebas.

El proceso de diseño de nuevos productos de software en una MPL es una actividad compleja de toma de decisiones que se encuentra influenciada por múltiples factores entre los que destacan varios tipos de relaciones de variabilidad y restricciones entre características, las configuraciones crecen exponencialmente de acuerdo con el número de características (2^n), lo que resulta en una explosión combinatoria de variantes, en las cuales las características influyen de forma positiva o negativa en el producto, por mencionar algunos.

El presente capítulo proporciona una revisión de técnicas de búsqueda y optimización que apoyan a la Ingeniería de Líneas de Productos de Software. La contribución principal de este trabajo consiste en ofrecer elementos de aplicación práctica para configurar características y obtener variantes de productos de software utilizando LPS y técnicas de SBSE. Además, esta investigación presenta la modelación de un problema de SPLE (configuración de productos en una MPL) como un problema de búsqueda (SBSE), utilizando el problema de la mochila y la implementación en Python de un algoritmo genético como estrategia de solución.

El capítulo está organizado de la siguiente manera: la sección 1 proporciona los antecedentes y conceptos básicos sobre las LPS, MPL y el problema de la mochila. La sección 2 presenta las técnicas de SBSE que se utilizan en las LPS. La sección 3 presenta la metodología empleada para la aplicación de técnicas de SBSE en el desarrollo de una MPL. La sección 3 presenta la aplicación de técnicas de SBSE al problema de configuración de productos de SBSE. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y el trabajo a futuro.

6.1 Antecedentes

Los antecedentes básicos de los campos de investigación que abarcan el capítulo son: Líneas de Productos de Software, Multilíneas de Productos de Software y el problema de la mochila.

Líneas de Productos de Software

El concepto de Línea de Productos de Software se utiliza tanto en la industria como en la academia para referirse al desarrollo de un conjunto de productos de software similares utilizando una plataforma común y la personalización en masa.

Según el Instituto de Ingeniería de Software de la Universidad Carnegie Mellon (SEI), se le denomina **Línea de Productos de Software** al “conjunto de sistemas de software intensivo que comparten una serie de características administradas que satisfacen las necesidades específicas de un segmento de mercado particular o misión, y que se desarrollan de forma prescrita a partir de un conjunto común de activos base” (Clements & Northrop, 2001). De esta definición se destaca que las LPS capitalizan la reutilización de los activos base (artefactos y recursos) y el rápido desarrollo de nuevas aplicaciones para un dominio objetivo. Dentro de los **activos base (core assets)** que forman las bases para las LPS destacan la arquitectura, componentes de software reutilizables, modelos de dominio, requisitos, documentación, especificaciones, calendario, presupuesto, planes de prueba, casos de prueba, por mencionar algunos.

Otro aspecto que diferencia a la Ingeniería de Líneas de Productos de Software (SPLE, Software Product Line Engineering) de la Ingeniería de Software tradicional es la gestión de la variabilidad. La **variabilidad** se refiere a la capacidad de un artefacto de software o sistema para configurarse, personalizarse, extenderse o cambiarse para su uso en un contexto específico. El propósito general de la variabilidad de una LPS es maximizar el retorno de la inversión (ROI, Return On Investment) para construir y mantener productos de software durante un período específico de tiempo.

Entre los beneficios que las LPS ofrecen a las organizaciones destacan el aumento de la productividad de los ingenieros de software, la reducción de costos de desarrollo y riesgos, la calidad de los productos se mejora porque cada producto se ajusta a las necesidades de cada cliente y se facilita el mantenimiento de los productos de software. Sin embargo, en algunas ocasiones estos beneficios resultan limitados porque las LPS no pueden evolucionar o mantenerse indefinidamente para satisfacer o cumplir con los requerimientos y necesidades del mercado ya sea por funcionalidad, enfoque o tecnología.

Por esta razón, los ingenieros reconocen que es imposible extender o adaptar la LPS (Holl, Grünbacher, & Rabiser, 2012). Una alternativa de solución es emplear un esquema de reutilización similar a las LPS denominado MPL (Multilínea de Productos de Software).

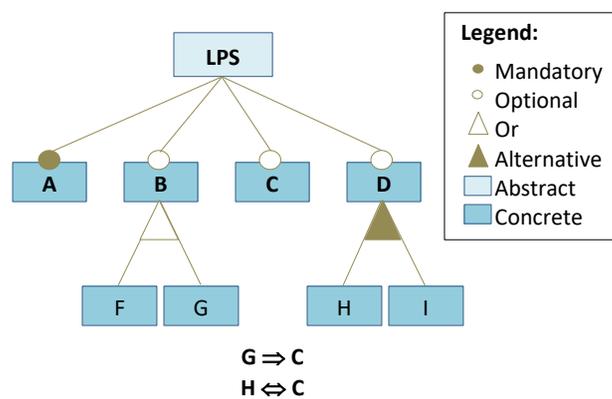
Una **MPL (Multi Product Line)** también denominada MSPL (Multiple Software Product Line) es una Línea de Productos de Software que extiende la reutilización de software de varias Líneas de Productos de Software heterogéneas (Holl et al., 2012; Lienhardt, Damiani, Donetti, & Paolini, 2018; Savolainen, Mannion, & Kuusela, 2012). El enfoque se refiere al desarrollo de software en el que los productos de software son el resultado de combinar componentes o productos desarrollados en Líneas de Productos de Software independientes, las cuales provienen de diversas organizaciones o equipos, utilizan diversos enfoques, tecnologías y proveedores. Los términos MPL, MSPL, Múltiples LPS, Líneas de Productos Anidadas, Líneas de Productos de Líneas de Productos se utilizan para denotar el mismo concepto.

Modelo de características

Una **característica (feature)** o rasgo es un elemento distintivo que representa aspectos relevantes del software y se utiliza para describir o distinguir un producto de la LPS. Las características son importantes para representar la variabilidad debido a que es posible generar diferentes productos seleccionando diferentes características (Benavides, Trinidad, & Ruiz-Cortés, 2005).

Un **modelo de características (feature model)** es una técnica gráfica o textual para expresar la variabilidad y representar los productos de una LPS en términos de características (obligatorias, opcionales y alternativas), las cuales describen un incremento en la funcionalidad de los productos (Figura 6.2). Asimismo, los modelos de características delimitan el alcance de las LPS y documentan formalmente las configuraciones que son soportadas. También se utilizan para el modelo de verificación de una LPS, pruebas en las LPS, automatización de la configuración del producto o para el cálculo de la información pertinente.

Figura 6.2 Modelo de características



Fuente de Consulta: Elaboración propia

El conjunto de características que integran un modelo de características se organiza de la siguiente forma:

Relaciones jerárquicas

Se refieren a las relaciones entre una característica padre o raíz y sus características hijas (sub-características) las cuales pueden ser:

- **Obligatoria (Mandatory):** se refiere a la selección predeterminada de características. Además, si se selecciona la característica raíz, es necesario seleccionar la sub-característica.
- **Opcional (Optional):** indica la posibilidad de seleccionar sub-características.

- **Alternativa (Alternative):** indica la posibilidad de seleccionar una de las sub-características del grupo.
- **Or:** indica la posibilidad de elegir una o más sub-características del grupo. Es posible colocar una restricción de cardinalidad para restringir el número mínimo y máximo de características seleccionables en un grupo.

Relaciones no jerárquicas

Relaciones del tipo “si la característica A aparece, entonces la característica B se incluye o excluye”.

- **Require (Requires):** si una característica G requiere una característica C significa “si la característica G es incluida en el producto”, es necesario incluir la característica C, pero no viceversa.
- **Excluye (Excludes):** si una característica H excluye una característica C significa que ambas características no forman parte del mismo producto.

Proceso de desarrollo de una LPS

El proceso de desarrollo de una LPS implica gestionar los puntos de variación entre los diferentes miembros de la línea. Por esta razón se identifican los aspectos comunes y variables del dominio en cuestión. El paradigma de la Ingeniería de LPS separa dos procesos (Pohl, Böckle, & Linden, 2005):

1) La Ingeniería de Dominio es el proceso responsable de establecer la plataforma reutilizable, definir lo que es común y lo que es variante entre los productos de las LPS.

2) La Ingeniería de Aplicación se refiere al proceso en el que las aplicaciones de la LPS se construyen mediante la reutilización de artefactos del dominio y la explotación de la variabilidad de la LPS. Este proceso también se conoce como **derivación del producto**, cuya actividad principal es seleccionar o configurar un conjunto adecuado de características que satisfaga ciertos requisitos especificados. Estos requisitos son funcionales o no funcionales, con algunos requisitos compitiendo e incluso en conflicto entre sí.

Para la derivación de productos en una LPS, un ingeniero de aplicaciones recibe un modelo de características y los requisitos de la aplicación e intenta seleccionar un subconjunto de características que genere el producto de software requerido y personalizado a las necesidades y preferencias de los usuarios. Esta cuestión se conoce como el **problema de selección óptima de características** (optimal feature selection) (dos Santos Neto, Britto, Rabêlo, Cruz, & Lira, 2016; Guo, White, Wang, Li, & Wang, 2011; Y. Wang & Pang, 2014; Xue et al., 2015, 2016) o **problema de la configuración** (Asadi, Soltani, Gasevic, Hatala, & Bagheri, 2014) y se convierte en un problema de optimización que plantea desafíos para el razonamiento y la configuración de las características.

Principalmente, los problemas a enfrentar durante la configuración de las Líneas de Productos de Software se enumeran a continuación (Afzal, Mahmood, & Shaikh, 2016):

- Modelo de características vacío o nulo debido a que no hay algún producto válido en la derivación.
- Modelo de características inválido debido a que sólo produce un producto.
- Producto inconsistente porque infringe las reglas y restricciones del modelo de características.
- Modelo de características inconsistente debido a que sus características incluidas no son consistentes entre sí.
- Problema de la derivación o configuración del producto debido a que es posible derivar múltiples productos de un único dominio en el punto de variación.

- Problema de la gestión de la variabilidad
- Errores relacionados con los modelos de características como características redundantes, cardinalidades inadecuadas y características variables muertas y falsas.
 - Un modelo de características es redundante si la información semántica (al menos una) es modelada de una manera múltiple.
 - Una cardinalidad es inadecuada si adopta más características clonadas que las permitidas por el modelo de características.
 - Las características muertas se definen en los modelos de características, pero nunca son parte de una configuración de producto válida.
 - Las características de las variables falsas son aquellas que se etiquetan como opcionales en los modelos de características, pero tienen una restricción de selección obligatoria en el caso de la selección de características de los padres.

Problema de la mochila

El problema de la mochila (Knapsack problem) es un problema clásico de la optimización combinatoria con diversas aplicaciones en la industria, finanzas, ciencias aplicadas o en la vida real. Este problema permite modelar situaciones como presupuestos de capital, reducción de inventarios, asignación de procesos en sistemas distribuidos, selección de proyectos, distribuciones de carga física o eléctrica, por mencionar algunos.

El problema de la mochila modela la situación de colocar n objetos con diferentes pesos o valores (P_i) en una mochila, la cual tiene una determinada capacidad de peso (C). El objetivo del problema de la mochila es encontrar un subconjunto de objetos con el cual se maximice el beneficio que proporcionan los objetos mientras se satisface la restricción de no sobrepasar la capacidad de la mochila (contenedor) donde serán colocados los objetos (Connolly, Martello, & Toth, 1991). Formalmente, el problema de la mochila se define de la siguiente forma:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^n P_i X_i \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a } \sum_{i=1}^n W_i X_i \leq C \quad (2)$$

$$X_i = 0 \text{ ó } 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

El problema de la mochila tiene diversas variantes entre las que destacan:

- El problema de la mochila multidimensional (MDKP, Multi-Dimensional Knapsack Problem) el cual se refiere a un problema de la mochila con restricciones.
- El problema de la mochila múltiple (MKP, Multiple Knapsack problem) que considera m mochilas.
- El problema de la mochila de opción múltiple (MCKP, Multiple-Choice Knapsack Problem) en el cual los artículos son divididos en clases y exactamente un elemento de cada clase se utiliza.
- El problema de la mochila multidimensional de opción múltiple (MMKP, Multiple-Choice Multi-dimensional Knapsack Problems) supone n conjuntos compuestos por elementos mutuamente excluyentes. El objetivo es seleccionar exactamente un elemento por conjunto, maximizando la utilidad general, sin violar una familia de restricciones de mochila.

Técnicas de SBSE utilizadas en las LPS

En los últimos años, la Ingeniería de Software Basada en Búsqueda ha permitido a los ingenieros de software aplicar técnicas de optimización para automatizar tareas y resolver problemas o asuntos en las diferentes etapas del ciclo de vida de las LPS. A continuación, se describen las técnicas de SBSE principalmente utilizadas en el contexto de LPS.

Recocido Simulado

Originalmente, el recocido simulado se utilizó como un medio para encontrar la configuración de equilibrio de una colección de átomos a una temperatura dada.

El recocido simulado (SA, Simulated Annealing) es un método de búsqueda aplicado a problemas de optimización combinatoria. Este método se inspira en el proceso físico de recocido de sólidos, el cual utiliza un procedimiento que va disminuyendo la temperatura, con lo cual se modifica la estructura del material. El enfriamiento se realiza de forma lenta para obtener configuraciones moleculares resistentes. Cada etapa del enfriamiento tiene asociada una energía y una configuración del material determinadas.

En el contexto de las LPS, el recocido simulado se utiliza para optimizar el alcance de una plataforma de producto de software (Alsawalqah, Kang, & Lee, 2014) y para mejorar la eficiencia de la configuración del producto (Tan, Lin, Ye, & Zhang, 2013). Para mejorar la eficiencia de la configuración del producto en la LPS, la situación de identificar el mínimo conjunto de puntos de variación en un modelo de características es modelada mediante el problema de la cobertura de vértices y resuelta mediante un algoritmo de aproximación (Tan et al., 2013).

Algoritmos genéticos

Los **algoritmos genéticos (GA, Genetic algorithm)** son técnicas basadas en la Teoría de Darwin utilizadas para resolver problemas de búsqueda y optimización simulando el proceso de evolución natural. El procedimiento de búsqueda tiene el propósito de mantener una población de soluciones potenciales (cromosomas) mientras se realiza una investigación paralela de soluciones con una función de aptitud alta.

Los algoritmos genéticos tienen diferentes variaciones, específicamente para los operadores genéticos (cruce, mutación), la selección y cómo se reemplaza a los individuos para formar la nueva población. Existen tres pasos principales en un algoritmo genético: cruce, mutación y selección. En la literatura, se proponen diversas variantes para el operador de cruce, pero el principio común es combinar dos cromosomas para generar cromosomas de próxima generación, mediante un intercambio de genes simple o no, con pequeñas variaciones. La mutación cambia aleatoriamente los valores del gen para generar una nueva combinación de genes para la próxima generación. Matemáticamente, el interés principal de la mutación consiste en saltar soluciones óptimas locales. La selección es el último paso donde se copian las mejores soluciones cromosómicas en la próxima generación.

El enfoque denominado GA-FL (Genetic Algorithm to Feature Location) utiliza algoritmos genéticos para ubicar características en LPS basadas en modelos (Font, Arcega, Haugen, & Cetina, 2016).

La ubicación de características se refiere al proceso de encontrar el conjunto de artefactos de software que implementan una característica en particular. Por otro lado, los algoritmos genéticos son empleados para la minimización de pruebas en las LPS, específicamente en la identificación y eliminación de casos de prueba redundantes con el fin de reducir la cantidad total de casos de prueba a ejecutar, mejorando así la eficiencia de la prueba. Para lograr esto, se formula el problema de minimización como un problema de búsqueda y se define una función de aptitud considerando varios objetivos de optimización. Los algoritmos genéticos se utilizan para evaluar el desempeño de la función de aptitud (S. Wang, Ali, & Gotlieb, 2015).

Colonia de hormigas

La **optimización por colonia de hormigas (ACO, Ant Colony Optimization)** es una técnica de optimización aproximada inspirada en las colonias de hormigas ya que cada hormiga deposita un rastro de feromonas en la ruta o camino de su hormiguero a una fuente de alimento para que las demás integrantes de la colonia lo sigan y encuentren el camino más corto. Por esta razón, esta técnica se utiliza para resolver problemas computacionales que buscan los mejores caminos o rutas en un grafo.

En relación a la selección de características con restricciones de recursos (FSRC) en las LPS, el enfoque ACOFES transforma el modelo de características en un grafo dirigido y el problema a resolver es encontrar el mejor camino o ruta desde el origen hasta el destino, independientemente de las restricciones entre árboles. Posteriormente, el algoritmo ACO es modificado para encontrar la ruta óptima en el grafo dirigido (Y. Wang & Pang, 2014).

Murciélago

El **algoritmo de murciélago (BA, Bat algorithm)** es un algoritmo heurístico que imita el comportamiento de ecolocación de los murciélagos, la cual les permite localizar y cazar a su presa en la oscuridad. Este algoritmo permite realizar una optimización global y resulta de la combinación de un algoritmo de enjambre y un algoritmo de rutas. En (Alsariera, Majid, & Zamli, 2015), se presenta un enfoque llamado SPLBA para la reducción de casos de pruebas para LPS utilizando un algoritmo inspirado en los murciélagos.

Multiobjetivo

La **optimización multi-objetivo (MOO, Multi-objective optimization) o multi-criterio** considera problemas que requieren optimizar simultáneamente más de una función objetivo. En este caso, la noción de óptimo se redefine porque en lugar de buscar una única mejor solución (solución exacta), se busca un conjunto de buenas soluciones. El desafío principal de la optimización multi-objetivo es encontrar un conjunto de soluciones para ofrecer al tomador de decisiones las mejores alternativas entre las disponibles, para que seleccione una de ellas.

El diseño de arquitecturas de Líneas de Productos (PLA) se identifica como un problema de optimización que se ha resuelto mediante algoritmos multi-objetivo para encontrar soluciones óptimas que satisfagan los objetivos definidos. MOA4PLA (Multi-Objective Optimisation Approach for PLA design) es un enfoque basado en la búsqueda para respaldar las arquitecturas de LPS (Colanzi, Vergilio, Gimenes, & Oizumi, 2014). MOA4PLA utiliza una PLA modelada en un diagrama de clase UML y la optimiza. Se genera un conjunto de soluciones con la mejor compensación entre objetivos y el arquitecto selecciona la arquitectura a utilizar. En (Henard, Papadakis, Perrouin, Klein, & Traon, 2013), se presenta un enfoque para manejar múltiples objetivos en conflicto en la generación de pruebas para LPS. Este enfoque combina algoritmos genéticos y técnicas de resolución de restricciones para tratar los siguientes objetivos: 1) maximizar la cobertura por pares, 2) minimizar la cantidad de productos seleccionados y 3) minimizar el costo total del conjunto de pruebas.

Lógica difusa

La lógica difusa proporciona un mecanismo de inferencia que permite simular los procedimientos del razonamiento humano en sistemas basados en el conocimiento. La teoría de la lógica difusa permite modelar la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos proporcionando herramientas formales para su tratamiento. Básicamente, cualquier problema se resuelve a partir de un conjunto de variables de entrada (espacio de entrada) y se obtiene un valor adecuado de variables de salida (espacio de salida). La lógica difusa permite establecer este mapeo de una forma adecuada, atendiendo a criterios de significado (y no de precisión). Actualmente, se utiliza en un amplio sentido, agrupando la teoría de conjunto difusos, reglas si-entonces, aritmética difusa, cuantificadores, entre otros. En (Robak & Pieczynski, 2003), los autores utilizan la lógica difusa para asignar pesos (prioridades) a las características en un modelo de características. La asignación de prioridades en un modelo de características ayuda a los desarrolladores a seleccionar las características de alta prioridad sobre las más bajas. Definen los tipos de la función de pertenencia, número y los tipos de distribución de los conjuntos difusos.

Sistemas de recomendación

Los sistemas de recomendación (RS) aprenden de las preferencias de los usuarios y predicen futuros elementos de interés para ellos. Su objetivo es aliviar el problema de la sobrecarga de información que se produce en la configuración de la LPS, donde el número de características y configuraciones posibles es alto para que un solo usuario lo manipule. En (Pereira, Matuszyk, Krieter, Spiliopoulou, & Saake, 2016) proponen un Sistema de Recomendación de características colaborativo, el cual se basa en configuraciones de usuarios anteriores para generar recomendaciones personalizadas para un usuario actual. Esto es debido a que la configuración manual de un producto es un proceso masivo y difícil. Para facilitar este proceso, adaptan tres algoritmos de recomendación personalizada con el escenario de la configuración de la LPS: vecino más cercano, similitud media y factorización de matrices. Estos algoritmos utilizan configuraciones anteriores para estimar y predecir la relevancia de las características con el fin de guiar al usuario a través del proceso de selección de características.

La **Tabla 6.1** muestra la comparación de los trabajos relacionados que identifican problemas de optimización en las LPS y las técnicas de SBSE utilizadas para resolverlos. Los criterios de comparación son: Tipo (LPS o MPL), Tipo de modelo, técnica de SBSE y el objetivo de la función objetivo.

Tabla 6.1. Trabajos relacionados

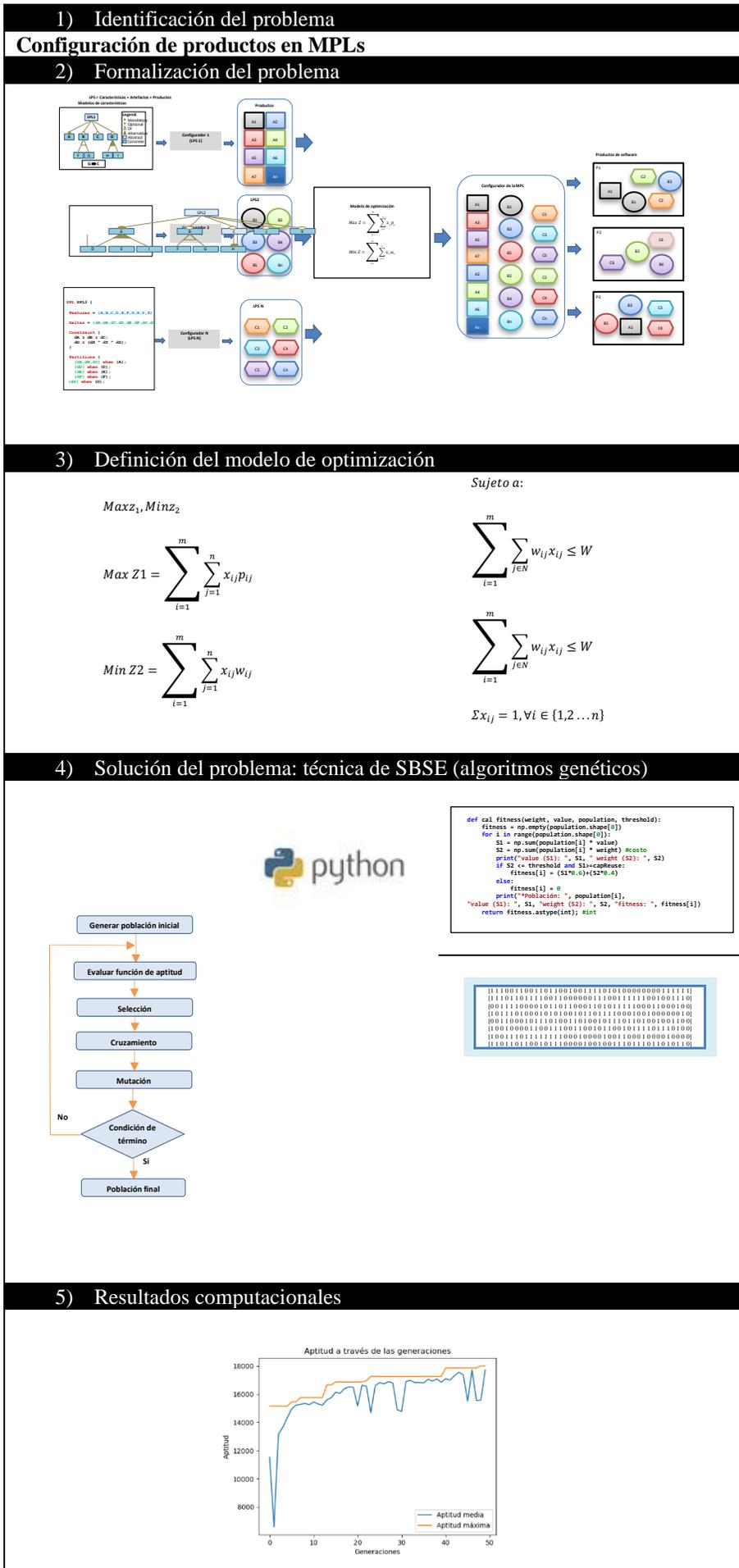
Propuesta	Tipo de LPS	Tipo de modelo	Técnica SBSE	Caso de estudio	Función objetivo
(Robak & Pieczynski, 2003)	LPS	Mono-objetivo	Lógica Difusa	Didáctico (coche)	Gestión de prioridades
(Tan et al., 2013)	LPS	No se menciona	Recocido simulado	Biblioteca	No se menciona
GAFES (Guo et al., 2011)	LPS	Mono-objetivo	Algoritmo genético	Didáctico (red de sensores)	Minimizar consumo de recursos
ACOFES (Y. Wang & Pang, 2014)	LPS	Mono-objetivo	Colonia de hormigas	Didáctico (Tienda online)	Minimizar consumo de tiempo
(Cruz et al., 2013)	LPS	Multi-objetivo	Sistemas de inferencia difusos	Didáctico (Libros)	Minimizar costo y maximizar relevancia de los productos candidatos
IVEA (Lian & Zhang, 2015)	LPS	Multi-objetivo	Algoritmo genético	Didáctico (Portal web)	Maximizar el número de características seleccionadas, minimizar los defectos, costo y el número de violaciones de reglas
(Afzal, Mahmood, Rauf, & Shaikh, 2014)	LPS	Mono-objetivo	Algoritmo genético	Didáctico (Smartphone)	Minimizar inconsistencias del modelo de características
(Trujillo-Tzanahua, Juarez-Martinez, Aguilar-Lasserre, Cortes-Verdin, & Azzaro-Pantel, 2019)	MPL	Multi-objetivo	Algoritmo genético	Inmótica	Minimizar costo, maximizar reutilización y compatibilidad de las características.

Fuente de Consulta: Elaboración propia

6.3 Metodología

La metodología propuesta para la aplicación de técnicas de SBSE en el desarrollo de una MPL consiste en 5 etapas, las cuales se describen gráficamente en la **Figura 6.3.** y se detallan en la sección 5.

Figura 6.3. Metodología propuesta



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Aplicación de técnicas SBSE al problema de configuración de productos

Durante la última década, el alcance de la Ingeniería de Software Basada en Búsqueda se ha extendido para cubrir diferentes aspectos del ciclo de vida de las LPS, tales como: selección de características, generación de pruebas, arquitectura, mantenimiento, entre otros. Estas técnicas resultan interesantes para enfrentar algunos desafíos que es posible surjan al reutilizar varias LPS, la interoperabilidad, la derivación de productos, la arquitectura, las pruebas de los productos, entre otras.

En esta sección, se presenta la problemática elegida para probar la efectividad de utilizar técnicas de SBSE en las LPS. La problemática que se aborda es la **configuración de productos** reutilizando los modelos de características de n LPS. Es decir, se requiere configurar un conjunto de productos de software para generar nuevas aplicaciones a través de una nueva LPS denominada MPL.

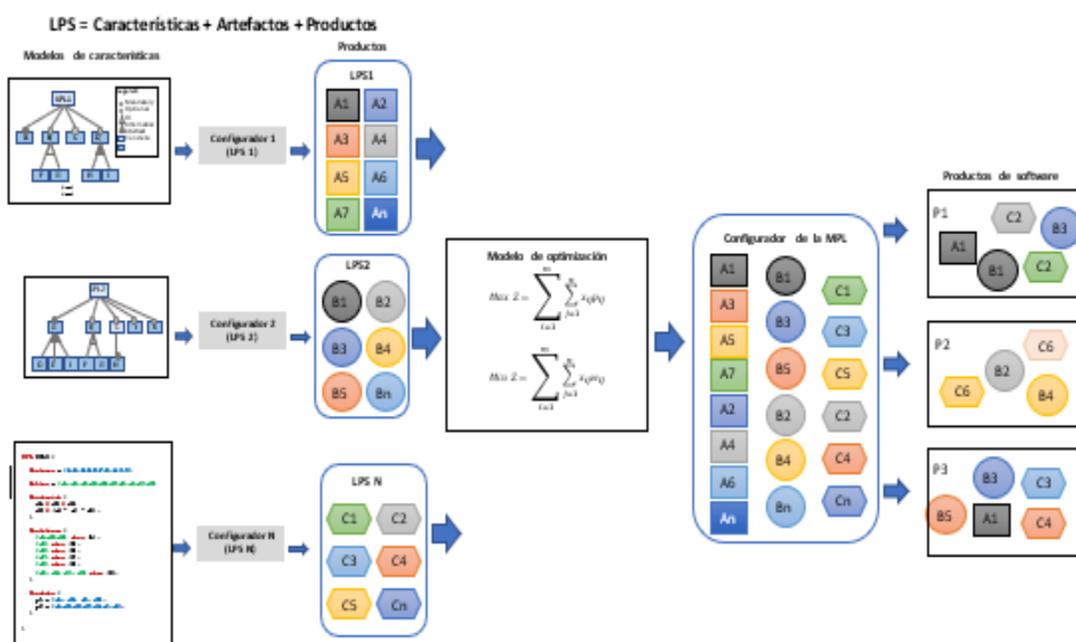
Identificación del problema

La configuración de una MPL es un problema de optimización combinatoria no lineal y multi-objetivo en el que se involucran un conjunto finito de Líneas de Productos de Software, una cierta cantidad de características y un conjunto finito de restricciones. Cada característica tiene diferentes valores y pertenece a diferentes modelos de características o Líneas de Productos de Software y cuyo número de combinaciones crece exponencialmente, dando lugar a múltiples configuraciones (soluciones óptimas) para un producto de software. Este fenómeno se denomina explosión combinatoria, debido a la gran cantidad de soluciones factibles y no factibles que aparecen. En la práctica, las técnicas exactas no son aplicables para su solución debido al gran tiempo de cómputo necesario. Estos problemas se conocen como problemas de tipo NP (nondeterministic polynomial time) completo y no es posible encontrar un algoritmo que los resuelva en un tiempo de cómputo polinomial.

El modelo de la mochila se consideró para resolver el problema de configuración de productos en una MPL como un caso especial de MMKP (Multiple Choice Knapsack Problem). Como se ilustra en la **Figura 6.4**, un configurador de MPL es análogo a una mochila en la cual es posible colocar n características proveniente de m LPS y combinarlas para producir productos. Por lo tanto, es posible utilizar el problema de la mochila como una herramienta para resolver el problema de la configuración de productos.

Formalización del problema

Figura 6.4 Configuración de productos en una MPL



Dado m modelos de características y una especificación de requisitos, una configuración de productos es la selección de características subdivididas en m LPS. Las características seleccionadas deben ser reutilización de los artefactos de la LPS disponibles. En consecuencia, si un producto de software en particular se define por n características, con cada característica $f_{ij} \in N_i$, la cual tiene una recompensa de selección P_{ij} por reutilización y un costo de desarrollo w_{ij} , es posible modelar el problema de configuración de productos en una MPL como un caso especial de MMKP. Ver figura 6.4.

Notación

Para formular el problema matemáticamente, la notación empleada se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Notación empleada

Datos	
F	Característica
N	Número de características
M	Número de LPS = Número de modelos de características
I	Índice de una característica
J	Índice de una LPS
w_{ij}	Costo de desarrollo de la característica i si se asigna a la LPS j
p_{ij}	Beneficio o puntaje de la característica i si se asigna a la LPS j por reutilización
Variables	
x_{ij}	Variable igual a 1 si la característica i se asigna a la LPS j ; 0 en caso contrario
Restricciones	
W	Presupuesto disponible
P	Valor límite mínimo de reutilización requerido
MA	Conjunto de características obligatorias
O	Conjunto de características opcionales
XOR	Conjunto de todas las características alternativas exclusivas
OR	Conjunto de todas las características alternativas no exclusivas

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Definición del modelo de optimización

Para resolver el problema de la configuración de productos en una MPL, se formuló un modelo de optimización. Los elementos que integran el modelo son:

- 1) Función objetivo o de aptitud:** se refiere a una medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea maximizar o minimizar.

En este caso, la problemática consiste en la configuración de productos de software o selección de características en una MPL. La problemática se abordó bajo un enfoque de optimización multi-objetivo considerando el antagonismo de criterios técnico y económico para la selección de características (costo y reutilización) facilitando así la toma de decisiones al momento de elegir las posibles configuraciones.

El modelo de optimización multi-objetivo (Ecuación 4) integra y optimiza simultáneamente dos funciones objetivo: reutilización del software (Z_1) y costo (Z_2) con el mismo conjunto de características.

La función objetivo (Ecuación 5) es una optimización por maximización, la cual tiene como objetivo seleccionar características de cada LPS con el máximo beneficio total (reutilización), mientras que el costo de desarrollo de las características elegidas no debe exceder la restricción de presupuesto W (Ecuación 7).

La función objetivo (Ecuación 6) es una optimización por minimización, la cual tiene como objetivo seleccionar características de cada LPS con el costo mínimo de desarrollo, mientras que la reutilización debe exceder el valor límite de reutilización (Ecuación 8).

$$\text{Max } Z_1, \text{Min } Z_2 \quad (4)$$

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} p_{ij} \quad (5)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} w_{ij} \quad (6)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j \in N} w_{ij} x_{ij} \leq W \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j \in N} w_{ij} p_{ij} \leq P \quad (8)$$

$$\sum x_{ij} = 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (9)$$

- **Variables:** representan las decisiones que es posible tomar para afectar el valor de la función objetivo. En este caso la variable (x) representa la selección o no de la característica.
- **Restricciones:** representan el conjunto de relaciones (ecuaciones o inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

La Tabla 6.3 proporciona una muestra del conjunto de datos de características para generar una cartera de productos para la MPL.

Tabla 6.3 Datos del caso de prueba

No.	Característica	LPS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	U	Reutilización	Costo
1	Luces	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	1000
2	Hardware	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	500
3	Arduino	1	✓					✓	2	0.333333333	400
4	RaspberryPi	1		✓	✓	✓	✓		4	0.666666667	500
5	R3MA	1		✓					1	0.166666667	725
6	R3MB	1			✓				1	0.166666667	300
7	R2MA	1				✓			1	0.166666667	500
8	Sensor	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	400
9	Temperatura	1	✓					✓	2	0.333333333	1000
10	Humedad	1	✓	✓	✓			✓	4	0.666666667	800
11	Gas	1	✓						1	0.166666667	500
12	MQ2	1	✓	✓				✓	3	0.5	200
13	MQ7	1	✓						1	0.166666667	300
14	Flama	1	✓						1	0.166666667	1650
15	Protocolo	1	✓						1	0.166666667	320
16	Wifi	1	✓	✓	✓		✓		4	0.666666667	298
17	Bluetooth	1		✓		✓		✓	3	0.5	2356
18	Iluminación	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	2250
19	Automática	2	✓	✓		✓			3	0.5	3500
20	Semiautomática	2	✓		✓		✓	✓	4	0.666666667	1500
21	Ambiente	2	✓		✓				2	0.333333333	2000
22	PC	2	✓	✓	✓		✓		4	0.666666667	1000
23	Switch	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	2000
24	Dispositivo	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	1000
25	RaspberryPi	2			✓	✓	✓	✓	4	0.666666667	900
26	Arduino	2	✓	✓					2	0.333333333	800
27	Alarma	2	✓		✓		✓	✓	4	0.666666667	1000
28	Inundación	2	✓		✓		✓		3	0.5	860
29	Fuego	2	✓		✓			✓	3	0.5	950
30	Vigilancia	2	✓	✓	✓	✓			4	0.666666667	2500
31	Sensor	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	1000
32	MQ7	2	✓		✓				2	0.333333333	500
33	Luminosidad	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6	1	1200
34	Flama	2	✓	✓					2	0.333333333	980
35	DHT11	2	✓		✓		✓		3	0.5	250
36	DHT22	2		✓	✓	✓		✓	4	0.666666667	300
37	Movimiento	2	✓		✓				2	0.333333333	700
38	Humedad	2	✓		✓		✓		3	0.5	800
39	Bluetooth	2	✓	✓	✓			✓	4	0.666666667	1000
40	Wifi	2	✓			✓		✓	3	0.5	1200
41	ZigBee	2					✓		1	0.166666667	2000

Fuente de Consulta: Elaboración propia

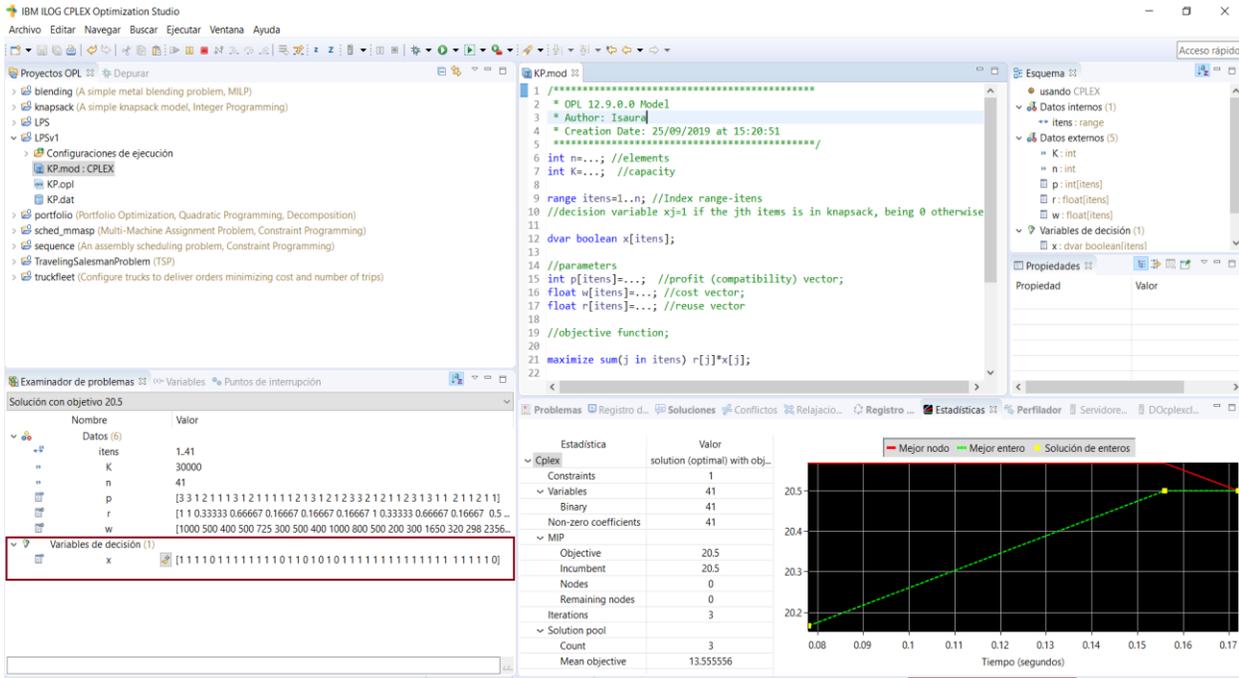
Solución del problema mediante una técnica de SBSE

Actualmente, existen herramientas computacionales para resolver problemas combinatorios y de optimización, sin embargo, estas pierden eficiencia conforme el número de variables incrementa, requiriendo mayor tiempo y recurso computacional. Por otro lado, existen herramientas comerciales como CPLEX que resuelve problemas de optimización de una forma exacta o mediante metaheurísticos como RiskOptimizer. Sin embargo, estas herramientas tienen un costo significativo para su uso y la optimización que realizan es de forma mono-objetivo. Por esta razón, se han desarrollado diversos métodos metaheurísticos para tener alternativas más rápidas y alcanzables para este tipo de problemas (NP y multi-objetivo) como por ejemplo los algoritmos genéticos.

Por otro lado, se identificó que no existe una solución exacta para el problema de la selección de características en una MPL porque es un problema multi-objetivo y es posible obtener un conjunto de soluciones factibles.

El problema se resolvió de forma mono-objetivo mediante IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Community Edition obteniendo una solución exacta (**Figura 6.5**).

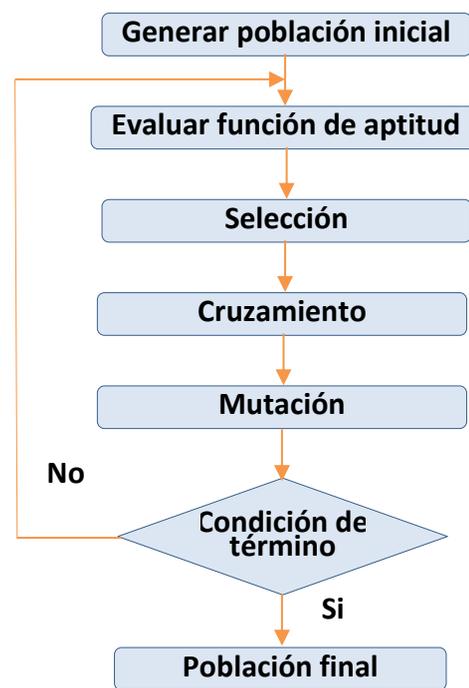
Figura 6.5. Resultados de la resolución del modelo de optimización utilizando CPLEX



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Implementación del algoritmo genético en Python

El problema se resolvió de forma multiobjetivo mediante la implementación de un algoritmo genético en Python. El funcionamiento general del algoritmo genético está descrito en la Figura 6.6. Previa a la generación de la población inicial se inicializan los elementos de la LPS (costo, reutilización y características). Se procede a generar la población inicial, es decir las soluciones (selección de características). Se evalúa la función de aptitud que selecciona a los más aptos, en función de costo y reutilización. A continuación, se realiza el cruzamiento seguido de la mutación. Se eligen a los más aptos para determinar la población final.

Figura 6.6 Proceso del algoritmo genético

Fuente de Consulta: Elaboración propia

- 1) Generar una población inicial.** El proceso del algoritmo genético comienza con un conjunto de individuos que se denomina población (**Tabla 6.4**). Cada individuo representa una solución al problema que se desea resolver. A cada solución se le denomina individuo, el cual se codifica como un cromosoma (cadena) que a su vez está representado por un conjunto de parámetros (variables que representan las características de las LPS) conocidos como genes. Por lo general, para representar la cadena se utilizan valores binarios (0,1) que representan la selección o no de la característica.

En este problema, el algoritmo genético comienza con la generación de la población inicial de tamaño n (8 individuos) en la que sus soluciones son generadas de forma aleatoria. Cada solución consiste en m genes (características), de modo que cada índice de gen corresponde al índice de característica en la lista. Cada gen tiene un valor 1 o 0 que indica si la característica correspondiente está presente o no en la configuración de productos. La función que permite calcular la aptitud de cada configuración corresponde a la función del código en Python denominada `cal_fitness`.

Tabla 6.4 Población inicial del AG

No	Cromosomas (soluciones)	Z_1	Z_2	Aptitud <i>Max Z_1, Min Z_2</i>
1	[11010001101001110000000010100011110110011]	34	15048	9042.4
2	[10011001100010010101011001000000001001110]	29	15023	9025.4
3	[01000001100010011001101100000011111011000]	31	15884	9542.8
4	[01100010100011010010100111000001010001010]	22	15428	9265.5999999999
5	[11111101011011001111110011011001000001111]	40	28691	17230.6
6	[1110101111101111110101001011001110101111]	45	30189	0.0
7	[11100010010010000101101000101011000100100]	31	16000	9612.4
8	[11010010100110000000101110111010010100001]	32	16090	9666.8

Fuente de Consulta: Elaboración propia

También en esta etapa, se definen los parámetros que influyen en la diversidad de la población como el tamaño de la población, número de generaciones, la tasa de cruce y la tasa de mutación. La **Tabla 6.5** muestra los parámetros de entrada utilizados para la ejecución del algoritmo genético.

Tabla 6.5. Parámetros

Parámetros	Descripción	Valor
Población	Número de individuos que conforman la población	8
Mutación	Índice de mutación (0.1 – 1.0)	0.5
Cruzamiento	Índice de cruzamiento (0.1 – 1.0)	0.8
Generaciones	Numero de generaciones	50

Fuente de Consulta: Elaboración propia

El tamaño de la población es el factor más distintivo que influye en la diversidad de la población.

Por ejemplo, una tasa de cruce excesivamente alta hará que la solución converja rápidamente antes de que se encuentre el óptimo. Por otro lado, una tasa de cruce baja disminuye la diversidad de la población y da como resultado un largo tiempo de cálculo.

La tasa de mutación también influye en el rendimiento del algoritmo genético ya que determina la frecuencia de búsqueda aleatoria. En general, se recomienda una tasa de mutación muy baja para evitar que el proceso del algoritmo genético se convierta en una búsqueda aleatoria pura, lo que perjudica la propiedad del AG.

- 2) **Evaluar la función de aptitud.** A cada uno de los cromosomas de la población se le aplica la función de aptitud o función objetivo para saber qué tan "buena" es la solución que se está codificando.
- 3) **Condición de término.** El algoritmo genético se detendrá cuando se alcance la solución óptima, pero ésta generalmente se desconoce, por lo que se utilizan otros criterios de detención. Normalmente se utilizan dos criterios: 1) ejecutar el algoritmo genético un número máximo de iteraciones (generaciones) o 2) detenerlo cuando no haya cambios en la población.

El proceso del algoritmo genético finaliza cuando se alcanza alguno de los criterios de termino fijados. Los más usuales suelen ser:

- **Los mejores individuos de la población representan soluciones suficientemente buenas para el problema que se desea resolver.**
 - **La población ha convergido. Cuando esto ocurre la media de aptitud de la población se aproxima a la aptitud del mejor individuo.**
 - Se ha alcanzado el número de generaciones máximo especificado
- 4) Mientras no se cumpla la condición de término se repiten los siguientes pasos:
 - **Selección.** Se eligen los mejores individuos de la población.
 - **Cruzamiento.** En la literatura, se proponen muchas variantes para el operador de crossover, pero el principio común es combinar dos cromosomas para generar cromosomas de próxima generación, mediante un intercambio de genes simple o no, con pequeñas variaciones.
 - **Mutación.** La mutación consiste en cambiar aleatoriamente los valores del gen para generar una nueva combinación de genes para la próxima generación. Matemáticamente, el interés principal de la mutación consiste en saltar las soluciones óptimas locales.

- 5) **Población final.** Los nuevos individuos, producto de los cruces y mutaciones se insertan en la población para dar lugar a la nueva generación (**Tabla 6.6**).

Tabla 6.6. Población final del AG

No	Cromosomas (soluciones)	Z ₁	Z ₂	Aptitud Max Z ₁ , Min Z ₂
1	[11111101011011011111110111011001000001111]	45	29989	18011.4
2	[11111101011011011111110111011001000001111]	45	29989	18011.4
3	[11111101011011011111110111011001000001111]	45	29989	18011.4
4	[11111101011011011111110111011001000001111]	45	29989	18011.4
5	[11111101011011011111010111011001000001111]	44	27989	16810.9999996
6	[11111101011011011011110111011001000001111]	42	27739	16660.1999997
7	[10111101011011011111110111011001000001111]	42	29489	17710.1999997
8	[11111101011011011111110111011001000001111]	45	29989	18011.4

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Resultados computacionales

A continuación, se presenta los resultados empíricos de los experimentos que se realizaron para evaluar el algoritmo genético.

El algoritmo se implementó en Python y se probaron en una PC con un procesador Intel(R) Core (TM) i7 a 2,8 GHz, 16 GB de RAM y sistema operativo Microsoft Windows 10.

Para evaluar el rendimiento del modelo de optimización multi-objetivo, es necesario seleccionar el mejor enfoque para identificar soluciones candidatas. Se utilizaron las siguientes métricas: valor de conveniencia para la reutilización y costo.

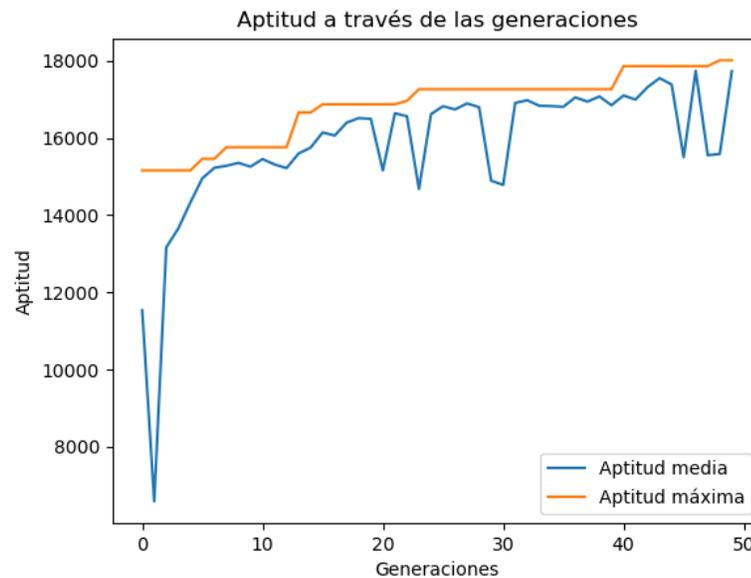
El modelo de optimización multi-objetivo propuesto se ejecutó un total de diez veces bajo los mismos parámetros. Para cada ejecución, los valores iniciales de las variables de optimización se cambiaron para iniciar la búsqueda desde diferentes puntos y observar si la evolución se comporta de la misma manera. Las diez ejecuciones del modelo dieron resultados mayores que los requeridos, por lo cual es posible concluir que el modelo se desempeña adecuadamente en el escenario de optimización propuesto. Se propuso encontrar la configuración de las características que permitirían generar un producto de software con un costo límite de \$30,000.00 (presupuesto) y una reutilización mínima de 15.

La Figura 6.7 muestra un ejemplo de los Frentes de Pareto obtenidos con las pruebas realizadas en el algoritmo genético propuesto y se visualiza cómo cambia el estado físico (aptitud) con cada generación. Los resultados indican con un 1 si la característica se selecciona y con un 0 si no se selecciona. La **Tabla 6.7** muestra la selección óptima del conjunto de soluciones óptimas (población final)

Tabla 6.7. Características seleccionadas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 6.7 Frentes de Pareto

Fuente de Consulta: Elaboración propia

6.4 Conclusiones

El mercado demanda la búsqueda de enfoques novedosos para la configuración y generación de sistemas más complejos, evolución y mantenimiento como las Líneas de Productos de Software, Multilíneas de Productos de Software o técnicas de búsqueda y optimización.

La Ingeniería de Software Basada en Búsqueda es de gran importancia no solo para la Ingeniería de Software tradicional sino para la Ingeniería de Líneas de Productos de Software porque es un medio viable para guiar y ayudar a los ingenieros de aplicaciones en la toma de decisiones en el ciclo de vida desarrollo de software principalmente durante las fases de configuración, depuración o pruebas.

La implementación del algoritmo genético en Python permitió estimar la factibilidad para desarrollar nuevos productos de software en un configurador MPL reutilizando los insumos de LPS previamente desarrolladas. Esto debido a que el algoritmo facilita la selección y combinación de características proporcionadas por múltiples LPS (modelos de características) porque reduce la carga mental y complejidad cognitiva asociadas con el proceso de configuración de productos. Asimismo, mediante la aplicación de técnicas de SBSE es posible diseñar productos de software que mejor se adapten a los requisitos de las partes interesadas en base a dos objetivos de optimización: costo y reutilización.

Los resultados obtenidos comprueban que la optimización de la selección de características en la fase de configuración otorga grandes beneficios tanto a la calidad y desempeño final del producto de software, así como un mayor beneficio económico al ajustar a medida del cliente el costo de producción de un producto de software determinado.

Como trabajo a futuro se pretende actualizar e introducir nuevas funcionalidades a la MPL, por lo que se vislumbra refinar y complementar el modelo de optimización e implementación en Python con variables (características) adicionales para personalizar otros productos de software y abarcar otros segmentos de mercado relacionados a la automatización inteligente de edificios (interiores y exteriores) y así tener una mayor variabilidad de productos de software.

Como trabajo adicional, se pretende utilizar el caso de estudio y resolver el modelo de optimización con otras técnicas de Ingeniería de Software Basada en Búsqueda (por ejemplo, colonia de hormigas o recocido simulado). Asimismo, el modelo podría utilizarse como base para aplicarse en otras etapas del ciclo de vida (pruebas, ubicación de características, mantenimiento) de las MPL.

6.5 Apéndice

Se presenta abajo el código en Python del algoritmo genético, mismo que se describe en la Figura 5.6.

```

import numpy as np
import pandas as pd
import random as rd
from random import randint
import matplotlib.pyplot as plt

# ----- Inicialización de la lista de elementos de la LPS -----
reusability=[1, 1, 0.333333333, 0.666666667, 0.166666667, 0.166666667, 0.166666667, 1, 0.333333333,
0.666666667, 0.166666667, 0.5, 0.166666667, 0.166666667, 0.166666667, 0.666666667, 0.5, 1, 0.5,
0.666666667, 0.333333333, 0.666666667, 1, 1, 0.666666667, 0.333333333, 0.666666667, 0.5, 0.5, 0.666666667,
1, 0.333333333, 1, 0.333333333, 0.5, 0.666666667, 0.333333333, 0.5, 0.666666667, 0.5, 0.166666667]
reusability=np.asarray(reusability)

value=[3, 3, 1, 2, 1, 1, 1, 3, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 3, 1, 2, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 2, 1, 1, 2, 3, 1, 3, 1, 1, 2, 1, 1,
2, 1, 1]
value=np.asarray(value)

weight=[1000, 500, 400, 500, 725, 300, 500, 400, 1000, 800, 500, 200, 300, 1650, 320, 298, 2356, 225
0, 3500, 1500, 2000, 1000, 2000, 1000, 900, 800, 1000, 860, 950, 2500, 1000, 500, 1200, 80, 250, 300,
700, 800, 1000, 1200, 2000]
weight=np.asarray(weight)
y = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,
36,37,38,39,40,41]

noFeatures=np.asarray(y)
limite = 30000
capReuse=15
print('Feature. Weight Value Reusability')
for i in range(noFeatures.shape[0]):
    print('{0}{1}{2}{3}\n'.format(noFeatures[i], weight[i], value[i], reusability[i]))

# Generación de la población inicial
solutions_per_pop = 8
pop_size = (solutions_per_pop, noFeatures.shape[0])
print('Tamaño de la población= {}'.format(pop_size))
initial_population = np.random.randint(2, size = pop_size)
initial_population = initial_population.astype(int)
num_generations = 50
print('Población inicial: \n{}'.format(initial_population))

# Definición de la función de aptitud
def cal_fitness(weight, value, population, threshold):
    fitness = np.empty(population.shape[0])
    for i in range(population.shape[0]):
        S1 = np.sum(population[i] * value)
        S2 = np.sum(population[i] * weight) #costo
        if S2 <= threshold and S1>=capReuse:
            fitness[i] = (S1*0.6)+(S2*0.4)
        else :
            fitness[i] = 0
    print ("*Población: ",population[i], " value (S1): ", S1, " weight (S2): ", S2, " fitness: ", fitness[i])

```

```

return fitness.astype(int);

fitness_initial_gen=cal_fitness(weight, value, initial_population, limite)
print('Fitness de la primera generación: \n{ }\n'.format(fitness_initial_gen))

# Selección de los individuos más aptos para que puedan someterse a un cruzamiento
def selection(fitness, num_parents, population):
    fitness = list(fitness)
    parents = np.empty((num_parents, population.shape[1]))
    for i in range(num_parents):
        max_fitness_idx = np.where(fitness == np.max(fitness))
        parents[i,:] = population[max_fitness_idx[0][0], :]
        fitness[max_fitness_idx[0][0]] = -999999
    return parents

# Para el cruzamiento, se establece una tasa de cruce
def crossover(parents, num_offsprings):
    offsprings = np.empty((num_offsprings, parents.shape[1]))
    crossover_point = int(parents.shape[1]/2)
    crossover_rate = 0.8
    i=0
    while (parents.shape[0] < num_offsprings):
        parent1_index = i%parents.shape[0]
        parent2_index = (i+1)%parents.shape[0]
        x = rd.random()
        if x > crossover_rate:
            continue
        parent1_index = i%parents.shape[0]
        parent2_index = (i+1)%parents.shape[0]
        offsprings[i,0:crossover_point] = parents[parent1_index,0:crossover_point]
        offsprings[i,crossover_point:] = parents[parent2_index,crossover_point:]
        i+=1
    return offsprings

# En la mutación, se utiliza la técnica de cambio de bits, es decir, si el gen
seleccionado que va a sufrir mutación es 1, cámbielo a 0 y viceversa.
def mutation(offsprings):
    mutants = np.empty((offsprings.shape))
    mutation_rate = 0.5
    for i in range(mutants.shape[0]):
        random_value = rd.random()
        mutants[i,:] = offsprings[i,:]
        if random_value > mutation_rate:
            continue
        int_random_value = randint(0,offsprings.shape[1]-1)
        if mutants[i,int_random_value] == 0 :
            mutants[i,int_random_value] = 1
        else :
            mutants[i,int_random_value] = 0
    return mutants

def optimize(weight, value, population, pop_size, num_generations, threshold):
    parameters, fitness_history = [], []
    num_parents = int(pop_size[0]/2)
    num_offsprings = pop_size[0] - num_parents
    for i in range(num_generations):
        fitness = cal_fitness(weight, value, population, threshold)
        fitness_history.append(fitness)
        parents = selection(fitness, num_parents, population)

```

```

offsprings = crossover(parents, num_offsprings)
mutants = mutation(offsprings)
population[0:parents.shape[0], :] = parents
population[parents.shape[0]:, :] = mutants

print('Última generación: \n{ }\n'.format(population))
fitness_last_gen = cal_fitness(weight, value, population, limite)
print('Fitness de la última generación: \n{ }\n'.format(fitness_last_gen))
max_fitness = np.where(fitness_last_gen == np.max(fitness_last_gen))
parameters.append(population[max_fitness[0][0],:])
return parameters, fitness_history

#Los elementos correspondientes de los parámetros en la matriz noFeatures serán los que se elegirán
parameters, fitness_history = optimize(weight, value, initial_population, pop_size, num_generations, li
mite)
print('Los parámetros optimizados son \n{ }'.format(parameters))
selected_items = noFeatures * parameters
print('\n Elementos seleccionados')
for i in range(selected_items.shape[1]):
    if selected_items[0][i] != 0:
        print('{ }\n'.format(selected_items[0][i]))

# Generación de la gráfica para visualizar cómo cambia el estado físico con cada generación.
fitness_history_mean = [np.mean(fitness) for fitness in fitness_history]
fitness_history_max = [np.max(fitness) for fitness in fitness_history]
plt.plot(list(range(num_generations)), fitness_history_mean, label = 'Aptitud media')
plt.plot(list(range(num_generations)), fitness_history_max, label = 'Aptitud máxima')
plt.legend()
plt.title('Aptitud a través de las generaciones')
plt.xlabel('Generaciones')
plt.ylabel('Aptitud')
plt.show()
print(np.asarray(fitness_history).shape)

```

6.6 Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba y Universidad Veracruzana por el apoyo brindado para llevar a cabo esta investigación.

6.7 Referencias

- Afzal, U., Mahmood, T., Rauf, I., & Shaikh, Z. A. (2014). Minimizing feature model inconsistencies in software product lines. *17th IEEE International Multi Topic Conference: Collaborative and Sustainable Development of Technologies, IEEE INMIC 2014 - Proceedings*, 137–142. <https://doi.org/10.1109/INMIC.2014.7097326>
- Afzal, U., Mahmood, T., & Shaikh, Z. (2016). Intelligent software product line configurations: A literature review. *Computer Standards and Interfaces*, 48, 30–48. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.03.003>
- Alsariera, Y. A., Majid, M. A., & Zamli, K. Z. (2015). SPLBA: An interaction strategy for testing software product lines using the Bat-inspired algorithm. *2015 4th International Conference on Software Engineering and Computer Systems, ICSECS 2015: Virtuous Software Solutions for Big Data*, 148–153. <https://doi.org/10.1109/ICSECS.2015.7333100>
- Alsawalqah, H. I., Kang, S., & Lee, J. (2014). A method to optimize the scope of a software product platform based on end-user features. *Journal of Systems and Software*, 98, 79–106. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.08.034>

- Asadi, M., Soltani, S., Gasevic, D., Hatala, M., & Bagheri, E. (2014). Toward automated feature model configuration with optimizing non-functional requirements. *Information and Software Technology*, 56(9), 1144–1165. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.03.005>
- Benavides, D., Trinidad, P., & Ruiz-Cortés, A. (2005). Automated Reasoning on Feature Models. In *Proceedings of the 17th international conference on Advanced Information Systems Engineering* (pp. 491–503). https://doi.org/10.1007/11431855_34
- Clements, P. C., & Northrop, L. (2001). *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=501065>
- Colanzi, T. E., Vergilio, S. R., Gimenes, I. M. S., & Oizumi, W. N. (2014). A search-based approach for software product line design. *Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference on - SPLC '14*, 237–241. <https://doi.org/10.1145/2648511.2648537>
- Connolly, D., Martello, S., & Toth, P. (1991). Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations. *The Journal of the Operational Research Society*, 42(6), 513. <https://doi.org/10.2307/2583458>
- Cruz, J., Neto, P. S., Britto, R., Rabelo, R., Ayala, W., Soares, T., & Mota, M. (2013). Toward a hybrid approach to generate Software Product Line portfolios. *2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2013*, 2229–2236. <https://doi.org/10.1109/CEC.2013.6557834>
- dos Santos Neto, P. de A., Britto, R., Rabêlo, R. de A. L., Cruz, J. J. de A., & Lira, W. A. L. (2016). A hybrid approach to suggest software product line portfolios. *Applied Soft Computing Journal*, 49, 1243–1255. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.08.024>
- Font, J., Arcega, L., Haugen, Ø., & Cetina, C. (2016). Feature location in model-based software product lines through a genetic algorithm. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9679, 39–54. https://doi.org/10.1007/978-3-319-35122-3_3
- Guo, J., White, J., Wang, G., Li, J., & Wang, Y. (2011). A genetic algorithm for optimized feature selection with resource constraints in software product lines. *Journal of Systems and Software*, 84(12), 2208–2221. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.06.026>
- Harman, M. (2012). The role of artificial intelligence in software engineering. *2012 1st International Workshop on Realizing AI Synergies in Software Engineering, RAISE 2012 - Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RAISE.2012.6227961>
- Harman, M., & Clark, J. (2004). Metrics are fitness functions too. *Proceedings - International Software Metrics Symposium*, 58–69. <https://doi.org/10.1109/METRIC.2004.1357891>
- Harman, M., & Jones, B. F. (2001). Search-based software engineering. *Information and Software Technology*, 43(14), 833–839. [https://doi.org/10.1016/S0950-5849\(01\)00189-6](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(01)00189-6)
- Henard, C., Papadakis, M., Perrouin, G., Klein, J., & Traon, Y. Le. (2013). Multi-objective test generation for software product lines. *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference on - SPLC '13*, 62. <https://doi.org/10.1145/2491627.2491635>
- Holl, G., Grünbacher, P., & Rabiser, R. (2012). A systematic review and an expert survey on capabilities supporting multi product lines. *Information and Software Technology*, 54(8), 828–852. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.02.002>
- Lian, X., & Zhang, L. (2015). Optimized feature selection towards functional and non-functional requirements in Software Product Lines. *2015 IEEE 22nd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering, SANER 2015 - Proceedings*, 191–200. <https://doi.org/10.1109/SANER.2015.7081829>
- Lienhardt, M., Damiani, F., Donetti, S., & Paolini, L. (2018). Multi Software Product Lines in the Wild. *Proceedings of the 12th International Workshop on Variability Modelling of Software-Intensive Systems - VAMOS 2018*, 89–96. <https://doi.org/10.1145/3168365.3170425>

- Pereira, J. A., Matuszyk, P., Krieter, S., Spiliopoulou, M., & Saake, G. (2016). A feature-based personalized recommender system for product-line configuration. *ACM SIGPLAN Notices*, 52(3), 120–131. <https://doi.org/10.1145/3093335.2993249>
- Pohl, K., Böckle, G., & Linden, F. J. van der. (2005). *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques* (Vol. 10). Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1095605>
- Robak, S., & Pieczynski, A. (2003). Employing fuzzy logic in feature diagrams to model variability in software product-lines. *Proceedings - 10th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems, ECBS 2003*, 305–311. <https://doi.org/10.1109/ECBS.2003.1194812>
- Savolainen, J., Mannion, M., & Kuusela, J. (2012). Developing platforms for multiple software product lines. *ACM International Conference Proceeding Series*, 1, 220–228. <https://doi.org/10.1145/2362536.2362567>
- Tan, L., Lin, Y., Ye, H., & Zhang, G. (2013). Improving product configuration in software product line engineering. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*, 135, 125–134. Retrieved from <http://crpit.com/confpapers/CRPITV135Tan.pdf>
- Trujillo-Tzanahua, G.-I., Juarez-Martinez, U., Aguilar-Lasserre, A.-A., Cortes-Verdin, M.-K., & Azzaro-Pantel, C. (2019). Multiple Software Product Lines to configure applications of Internet of Things. *IET Software*. <https://doi.org/10.1049/iet-sen.2019.0032>
- Wang, S., Ali, S., & Gotlieb, A. (2015). Cost-effective test suite minimization in product lines using search techniques. *Journal of Systems and Software*, 103, 370–391. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.08.024>
- Wang, Y., & Pang, J. (2014). Ant colony optimization for feature selection in software product lines. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 19(1), 50–58. <https://doi.org/10.1007/s12204-013-1468-0>
- Xue, Y., Chen, M., Tan, T. H., Liu, Y., Dong, J. S., & Sun, J. (2015). Optimizing selection of competing features via feedback-directed evolutionary algorithms. *2015 International Symposium on Software Testing and Analysis, ISSTA 2015 - Proceedings*, 246–256. <https://doi.org/10.1145/2771783.2771808>
- Xue, Y., Zhong, J., Tan, T. H., Liu, Y., Cai, W., Chen, M., & Sun, J. (2016). IBED: Combining IBEA and DE for optimal feature selection in software product line engineering. *Applied Soft Computing Journal*, 49, 1215–1231. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.07.040>

Capítulo 7 Análisis paramétrico de los elementos del actuador chevrón

Chapter 7 Parametric analysis of the Chevron actuator

TECPOYOTL-TORRES, Margarita†*, RODRIGUEZ-FUENTES, Sahiril Fernanda, KOSHEVAYA, Svetlana y VARGAS-CHABLE, Pedro

*Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)
Licenciatura en Tecnología con áreas terminales en Física Aplicada y Electrónica, Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y Aplicadas, UAEM
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, UAEM*

ID 1^{er} Autor: *Margarita, Tecpoyotl-Torres/ ORC ID: 0000-0002-4336-3771, CVU CONACYT ID: 20650.*

ID 1^{er} Coautor: *Sahiril, Rodríguez-Fuentes/ ORC ID: 0000-0002-1587-3053*

ID 2^{do} Coautor: *Svetlana, Koshevaya / ORC ID: 0000-0002-5966-1343, CVU CONACYT ID: 15967*

ID 3^{er} Coautor: *Pedro, Vargas-Chable/ ORC ID: 0000-0002-2290-3740, CVU CONACYT ID: 484392*

DOI: 10.35429/H.2020.5.117.140

M. Tecpoyotl, S. Rodriguez, S. Koshvaya y P. Vargas

tecpoyotl@uaem.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Los sistemas microelectromecánicos (MEMS) se forman de componentes eléctricos y mecánicos. Se fabrican utilizando tecnologías de micromaquinado, con base en la tecnología de circuitos integrados. Los MEMS son ampliamente utilizados en la vida diaria, en particular se destaca su uso en sectores como, el automotriz, médico, de rehabilitación, etc. Entre los dispositivos que se desarrollan, se detectan constantemente sensores y actuadores nuevos o mejorados. Además, hay muchos grupos de investigación interesados en el desarrollo de los MEMS. Actualmente, para la optimización de los diseños, es posible desarrollar análisis paramétricos, mediante los cuales, se realizan barridos automatizados de forma rápida, lo cual genera información útil para analizar las tendencias de desempeño y, por tanto, para seleccionar los valores más adecuados de las variables, de acuerdo con los requisitos establecidos. La parametrización reduce tanto el tiempo, como los costos involucrados en el proceso de diseño. En este capítulo, analizamos la parametrización de los elementos básicos de un actuador chevrón, así como sus efectos sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción en la flecha, para cada caso. Con base en los resultados obtenidos, usando ANSYS, se determina la tendencia de desempeño de los elementos bajo análisis y se muestra de manera gráfica.

Desplazamiento; fuerza; parametrización; ANSYS; número de brazos.

7. Introducción

A partir de 1960, se experimentó con el uso de tecnologías de fabricación de Circuitos Integrados (CIs), para desarrollar microestructuras mecánicas. Entre los primeros dispositivos, se encuentra el transistor de compuerta resonante (RSG, por sus siglas en inglés), producido por Nathenson en Westinghouse. Este transistor combina las ventajas de contar con un factor de alta calidad mecánica y la ganancia intrínseca de un transistor (Tazabekov, 2015), fue el primer dispositivo microelectromecánico (MEM) fabricado, pero no fue comercializado exitosamente. Fue hasta la década de los 70's que se logró la adopción comercial de sensores de presión y acelerómetros (Kaajakari, 2009).

A la clase de micro dispositivos o sistemas integrados que, relacionan componentes eléctricos y mecánicos, desarrollados mediante tecnologías de micromaquinado, basadas en la tecnología de los CIs, son llamados Sistemas microelectromecánicos (MEMS). Su tamaño varía desde micrómetros hasta milímetros. Actualmente, se desarrollan muchos procesos únicos de micromecanizado específicos para MEMS. Estas nuevas tecnologías, junto con el diseño de nuevos o mejorados dispositivos, han permitido un acelerado desarrollo de mercados para los MEMS, donde cada año, ingresan nuevos productos cuyos costos son, en su mayoría, accesibles.

La comercialización de dispositivos MEMS producidos para la industria automotriz, se inició entre 1970 y 1980, por varias compañías (por ejemplo, transductores IC, Foxboro ICT, Dispositivos transitorios, sensores IC y Novasensor) (Judy, 2001). En los últimos años, los MEMS se han convertido en un componente vital dentro de una amplia gama de tecnologías, lo que hace que el estudio de su rendimiento y fiabilidad operativa sea un aspecto crítico para su correcta funcionalidad.

Actualmente, se fabrican una amplia variedad de dispositivos MEMS, que se aplican a varios sistemas que se utilizan en la vida diaria, por ejemplo, en automóviles, periféricos de computadoras, impresoras de inyección de tinta, cámaras fotográficas, videojuegos, etc. También se aplican en monitoreo ambiental, aplicaciones biológicas, tratamientos médicos, etc. (Cauchi, y otros, 2019). De acuerdo con el mercado que atienden, se destaca su uso en la industria automotriz, electrónica de consumo, defensa militar y aeronáutica, medicina, el sector industrial en general y las telecomunicaciones (Yole Developpement, 2019).

Los MEMS pueden actuar como sensores o actuadores, ya sea recibiendo información del medio, o como actuadores, transformando algún tipo de energía en una acción determinada. En un actuador, en general, una acción mecánica con una fuerza y movimiento (traslacional o rotacional) determinados, se activa en respuesta a una señal de control.

Hay actuadores que existen en la naturaleza, en particular, en músculos de animales o en plantas. La naturaleza ha sido la fuente de la llamada bio-inspiración, con base en la cual, diversos sistemas, tales como amplificadores de desplazamiento o algunos elementos robóticos, han sido diseñados.

Entre los actuadores hechos por el hombre, se encuentran los hidráulicos, neumáticos y solenoides. Otros, se basan en materiales que cambian su forma, tales como piezoeléctricos, de memoria de forma y magnetoresistivos (Huber, Fleck, & Ashby, 1997). Algunos actuadores operan de forma lineal, causando un cambio finito en la longitud, mientras que otros, como los motores, pueden producir desplazamientos considerados infinitos.

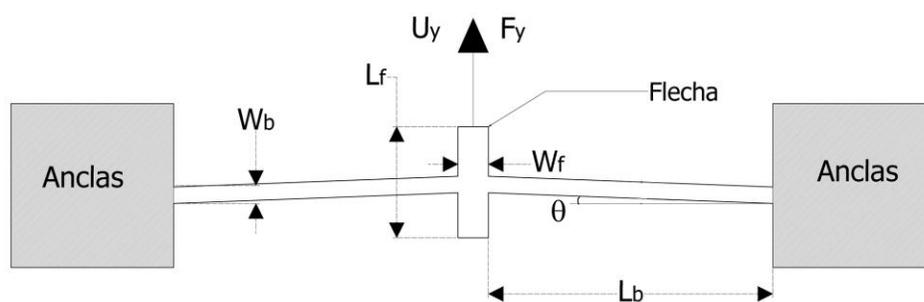
Los actuadores basados en MEMS tienen una amplia gama de aplicaciones, tales como microinterruptores, microespejos y micromotores. Los esquemas de actuación más utilizados son actuación térmica, electrostática, magnética, piezoeléctrica y neumática. Se destaca la actuación térmica debido a que genera un alto nivel de desplazamiento, alta precisión, repetibilidad y simplicidad en el diseño. Esta actuación puede obtenerse de varias formas (Elbuken, Gui, Ren, Yavuz, & Khamesee, 2008), entre las más comunes, se encuentra la actuación electrotérmica, mediante la cual, se han desarrollado diversos dispositivos, entre ellos, micropinzas (Wang, Shen., & Chen, 2015).

La actuación electrotérmica consiste en la expansión térmica de los brazos de sujeción, debido al Efecto de Joule, en presencia de corriente eléctrica. Las micropinzas electrotérmicas tienen muchas ventajas, tales como una amplia deformación, intensa fuerza de sujeción, bajo voltaje de operación y estructura compacta. Las limitaciones de los actuadores electrotérmicos están relacionadas con la alta temperatura en la región cercana a los objetivos de sujeción, por lo que deben usarse brazos de sujeción largos que disipen el calor producido por los actuadores (Iamoni & Somà, 2014), entre otras estrategias que han sido empleadas. En la literatura pueden hallarse varios ejemplos de micropinzas actuadas mediante actuadores chevrón.

7.1. El actuador chevrón

Los actuadores de tipo Chevrón, también llamados actuadores térmicos con brazos-V, o actuadores de viga flexionada, se encuentran entre los actuadores MEMS más conocidos. Un actuador chevrón consiste básicamente de un arreglo de pares de brazos, anclados en sus extremos exteriores, con un ángulo inicial predefinido (θ), y una flecha, también llamada haz central, masa de prueba o vástago movible, la cual permite el acoplamiento de los brazos. El actuador se calienta por el Efecto de Joule, debido al paso de corriente a través de la estructura, generada al aplicar una diferencia de potencial en los contactos anclados al sustrato (anclas). Cuando los brazos se calientan, se expanden y tienden a deformarse para generar un movimiento lineal uniforme en la flecha. El ángulo predefinido de los brazos direcciona al movimiento de la flecha. En la Figura 7.1 se muestra un actuador chevrón de 2 brazos. Al ángulo predefinido, también se le conoce como ángulo inicial, de inclinación o de apertura.

Figura 7.1 Elementos de un actuador chevrón de dos brazos



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Los actuadores chevrón fueron implementados por primera vez por L. Que in 1999 y M.J. Sinclair en 2000 (Baracu, y otros, 2015). L. Que in 1999, describió a microactuadores chevrón, con respuesta en el plano (paralelo al sustrato), con fuerzas de alrededor de un mili-Newton, mientras que M. J. Sinclair en 2000, propuso un actuador chevrón para la medición de la temperatura.

El actuador chevrón se ha utilizado para la medición in situ de la resistencia a la fractura de películas delgadas MEMS (Zhuo, Yueqing, Xinyu, & Xuping, 2015). Otro de sus usos comunes es su integración, de manera individual, o como arreglos de chevrones en micropinzas usadas ampliamente en tareas de microensamblaje y micromanipulación.

Las micropinzas actúan como elementos clave para manejar objetos frágiles, como células vivas, nanoalambres, piezas micromecánicas, entre otros objetivos de manipulación (Yukun, Nimping, & Qingsong, 2014). También se han desarrollado microespejos con base en arreglos de actuadores chevrón. (Baracu, y otros, 2015)

7.2. Diseño paramétrico

En el diseño de un dispositivo, es necesario identificar a los parámetros fundamentales de diseño, así como identificar a los efectos de sus variaciones en su desempeño, para finalmente, tomar las decisiones adecuadas, con base en la información obtenida a partir de las herramientas adecuadas (ANSYS Inc., 2011).

Para el conocimiento de las variaciones de los parámetros de diseño, puede realizarse el análisis de manera manual, o bien, mediante simulación, de manera puntual o discreta, pero deben hacerse varias simulaciones para obtener información de un amplio rango de variación, caso por caso, lo que lleva mucho tiempo y esfuerzo adicional. Afortunadamente, herramientas como ANSYS, entre otras, hacen posible que se realice el análisis de las variaciones de interés, de una manera relativamente sencilla, mediante barridos paramétricos automatizados de las variables bajo análisis, con iteraciones rápidas, mediante la aplicación del Método de Elemento Finito. Es decir, el software de simulación, en el análisis paramétrico resuelve de manera automática rangos completos de variables específicas. El desplegado gráfico de resultados permite al usuario, detectar las tendencias, al analizar el desempeño mostrado, y elegir los valores de las variables que sean más apropiadas, de acuerdo con los requerimientos establecidos, con base en las necesidades de la aplicación a la que serán destinados.

El diseño paramétrico reduce considerablemente el tiempo y costo de desarrollo de los procesos de diseño, a la vez que guía el desarrollo de un diseño robusto. En los procesos de diseño de sistemas complejos, es común seguir metodologías de diseño probadas, tales como el Modelo V o Smart product system design model, donde la etapa intermedia, que recibe el nombre de Detailed Design & Optimization (ANSYS Inc., s.f.), es la directamente relacionada con el análisis paramétrico.

En este capítulo, los actuadores son implementados en Silicio, con los cuales se analizará paramétricamente a sus elementos geométricos, con la finalidad de contar con una amplia base de información que apoye en el diseño de un actuador chevrón.

La hipótesis central es la siguiente:

Al llevar a cabo la parametrización de los elementos del actuador chevrón, puede conocerse la tendencia de desempeño del actuador, con base en el desplazamiento y la fuerza de reacción de la flecha, permitiendo la selección, por parte del diseñador, de las dimensiones más adecuadas de los elementos bajo análisis, teniendo en cuenta, además, a los requerimientos establecidos por la aplicación, así como por el proceso de fabricación.

Este trabajo se divide en las siguientes secciones:

Sección 1. Se plantea brevemente al desarrollo histórico de los MEMS y de su uso en la vida cotidiana, tanto de sensores, como de actuadores. Se describe también, de manera particular, al surgimiento de los actuadores chevrón, así como algunas de sus principales aplicaciones.

Sección 2. En esta sección se establecen, las principales características del dispositivo, las ecuaciones que rigen su comportamiento, así como los parámetros físicos y mecánicos del material utilizado para su implementación.

Sección 3. Se lleva a cabo el análisis de los resultados, tanto teóricos, como los obtenidos mediante simulación. Los parámetros de interés son: el número de brazos, el ángulo de inclinación, el ancho y largo de los brazos y el grosor de la estructura. Se analiza también al efecto del gradiente de temperatura sobre algunos elementos específicos. La respuesta se analiza, básicamente, con relación al desplazamiento y a la fuerza de reacción.

Sección 4. Se presenta un anexo en el que se describe un ejemplo del proceso de parametrización realizado en ANSYS.

Sección 5. Se presentan las conclusiones, destacando a los resultados sobresalientes, así como algunas observaciones finales y se plantea trabajo futuro.

Sección 6. Se agradece el apoyo recibido para llevar a cabo a este trabajo.

Sección 7. Se muestran las referencias bibliográficas consultadas.

7.3 Modelado físico del dispositivo

En este capítulo, se utiliza Silicio como material estructural para la implementación de los actuadores chevrón. Las propiedades físicas y mecánicas de este material se muestran en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Parámetros físicos y mecánicos del Silicio

Parámetro [unidad]	Descripción	Valor
ρ [kg/m ³]	Densidad	2329
E [GPa]	Módulo de Young	130.1
α [1/K]	Coefficiente de expansión térmica	2.568 e-6
κ [W/ m*K]	Conductividad térmica	148
ν [adimensional]	Razón de Poisson	0.33
Cp [J/ kg*K]	Calor específico	712
ρ [Ω^*m]	Resistividad	1.5 e-4
Punto de fusión, [°C]	Punto de fusión	1414C
Esfuerzo último, [MPa]	Esfuerzo último	250

Fuentes de Consulta: (Vargas-Chable, Tecpoyotl-Torres, Robles-Casolco, & Cabello-Ruiz, 2015), (Yang & Qingsong, 2017), (Jui-Chang, Hen-Wei, Shu-Wei, & Yao-Joe, 2014)

Es importante mencionar que el Silicio es uno de los materiales más comunes para la producción de dispositivos MEMS. Entre sus principales características se encuentran su alto punto de fusión (1414°C), su baja expansividad, así como la alta pureza con la que puede obtenerse. Debe señalarse, que su coeficiente de expansión térmica no es constante. (Swenson, 1983) propone una relación suave, obteniendo un comportamiento creciente del coeficiente de expansión térmica, conforme se incrementa la temperatura de 90K a 890K. Además, proporciona una tabla con los valores discretos del coeficiente de temperatura, en el rango de temperatura considerado.

Para aplicaciones a nivel macrométrico, también pueden hallarse los valores de sus parámetros mecánicos de otros materiales, en la literatura. Por ejemplo, en (Araujo, Briceño, & Rondón, 2020), se presenta el caso de mezclas asfálticas. Mientras que, en (González, Martínez, & Graciano, 2020), se analiza el caso de resinas epóxicas y Kevlar.

El actuador chevrón básico está conformado por dos brazos, sus dimensiones se muestran en la Tabla 7.2. Su simulación se lleva a cabo en el software ANSYS Workbench, para obtener el desplazamiento y la fuerza resultante, parametrizando a los siguientes elementos del actuador:

- Ángulo de inclinación
- Largo y ancho del brazo
- Largo y ancho de la flecha
- Grosor de la estructura

Se analiza, además, al efecto de la parametrización del gradiente de temperatura sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción de la flecha.

Debe señalarse que la selección de elementos a parametrizar se realiza a partir de aquellos que influyen significativamente en las variables de interés, del dispositivo bajo análisis. En el caso de (Araujo, Briceño, & Rondón, 2020), debido a que se enfocan en probetas fabricadas con mezclas asfálticas, la parametrización se realiza sobre los diámetros, espesores y condiciones de apoyo. Para el caso de los elementos a parametrizar en un tren de aterrizaje, pueden consultarse en (González, Martínez, & Graciano, 2020). Mientras que, sobre el comportamiento a fatiga de la aleación UNS A97075-T6 (AL-Zn), en (Béjar, 2019), se lleva a cabo el análisis, con enfoque en la predicción del número de ciclos; desarrollando los modelos paramétricos correspondientes.

En nuestro caso, la cantidad de movimiento de la flecha de un actuador chevrón depende del ángulo de inclinación θ , de la geometría y del número de brazos (N), así como del Módulo de Young E . Para el cálculo de su desplazamiento, de acuerdo con el número de brazos N , se utiliza (Zhu, Corigliano, & Espino, 2016):

$$U_y = \frac{F_y}{N \left(S^2 \frac{EA}{L} + C^2 \frac{12EI}{L^3} \right)} \quad (1)$$

donde F_y es la fuerza de actuación [N], S es la función seno del ángulo de apertura de cada brazo, C es el coseno del ángulo de apertura de cada brazo, I es el Momento de inercia [m^4], A es el área de sección de transversal del brazo [m^2] y L es la longitud del brazo [m].

Tabla 7.2 Parámetros de diseño del actuador chevr

Variable	Descripción	Tamaño [μm]
L_b	Largo del brazo	600
w_b	Ancho del brazo	5
t_b	Grosor de toda la estructura	15
w_f	Ancho de la flecha	30
L_f	Largo de la flecha	65
θ	Ángulo de inclinación	0.9

Fuente de consulta: (Vargas Chable, Ferrara Bello, Tecpoyotl Torres, Varona, & Sandoval Reyes, 2019)

Para calcular al desplazamiento, considerando a un gradiente de temperatura [ΔT], se utiliza a la ecuación 2 (Yong, Corigliano, & D Espinosa, 2006):

$$U^{\Delta T} = \alpha \Delta T L \frac{s}{\left(s^2 + c^2 \frac{12I}{AL^2} \right)} \quad (2)$$

donde α es el coeficiente de expansión térmica [1/K], ΔT es el gradiente de temperatura [°K] y L es la longitud del brazo [m].

El momento de inercia, para el caso de un haz o brazo de ancho w y grosor t , se calcula de acuerdo con la ecuación 3, (Kaajakari, 2009):

$$I = \frac{w^3 t}{12} \quad (3)$$

Para obtener la fuerza, se utiliza la ecuación 4, o bien, directamente la Ley de Hooke:

$$F_y = N \alpha E A \Delta T \sin \theta \quad (4)$$

donde el ángulo θ corresponde al ángulo de inclinación del brazo [°] y α al coeficiente de expansión térmica.

La resistencia de la viga se da por:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (5)$$

Donde ρ es la resistividad. L y A fueron previamente definidas (Báez Álvarez, 2011).

El cálculo de la constante de rigidez puede realizarse mediante la ecuación 6, (Trung Hoang, Tien Nguyen, & Hong, 2019):

$$k = \frac{2NE(12l \cos^2 \theta + AL^2 \sin^2 \theta)}{L^3} \quad (6)$$

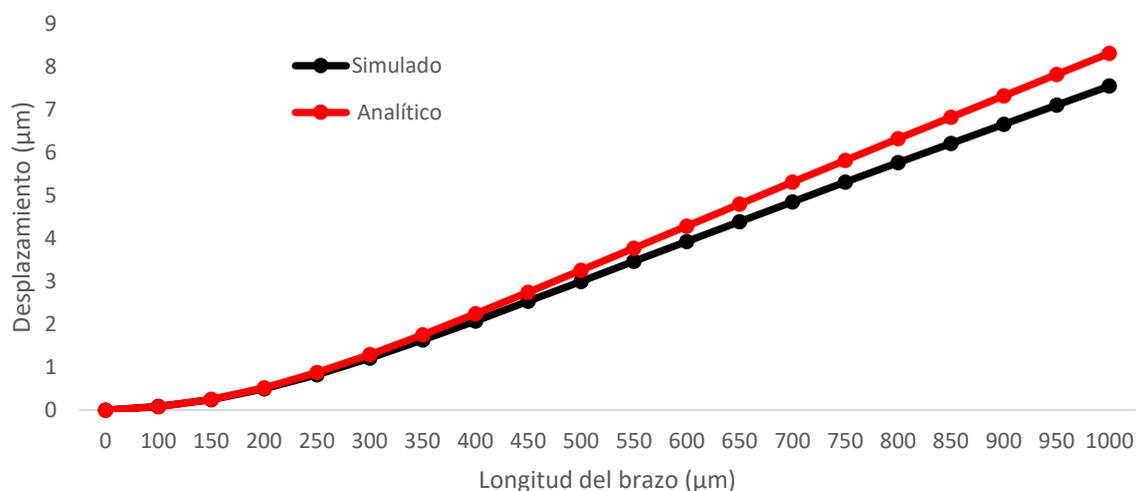
7.4 Resultados

Con el actuador chevrón de 2 brazos, se lleva a cabo la parametrización de sus elementos. Se eligió un grosor de $15 \mu\text{m}$, ya que es común en la literatura. Además, se considera una temperatura máxima de 78°C , evitando el uso de temperaturas que pudiesen afectar a los objetivos con los que se tenga interacción. Se obtiene así un cambio de temperatura de 56°C ($\Delta T = 78 - 22^\circ\text{C}$), donde 22°C es la temperatura ambiente que da por default ANSYS. Los valores de los elementos del actuador se toman de la Tabla 7.2, y se realiza la parametrización sobre el elemento bajo análisis, en cada caso.

7.5 Parametrización de la longitud de brazo

Se realizó un barrido de 100 a 1000 μm . El gráfico 7.1, muestra el desplazamiento de la flecha, correspondiente a las longitudes de brazo consideradas en el barrido. Puede apreciarse una alta linealidad en el comportamiento a partir de 250 μm . El error entre los resultados teóricos y la simulación es aceptable para todos los casos, siendo 9.1%, el porcentaje de error más alto, que corresponde a 1000 μm . Este bajo error, permite validar, mediante la herramienta ANSYS, el modelo analítico utilizado. Cabe señalar que, comúnmente en la bibliografía se utilizan longitudes de brazo en un rango de 200 a 400 μm . La selección de la longitud se realiza generalmente, de acuerdo con las necesidades de desplazamiento que se requiera en la aplicación específica.

Gráfico 7.1 Longitud de brazo contra desplazamiento



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Con relación al efecto de la longitud de brazo sobre la fuerza, no se observa un cambio significativo, ya que de acuerdo con la ecuación 4, se considera constante al Módulo de Young. En cálculos donde se incluya un gradiente de temperatura, podría observarse un ligero cambio.

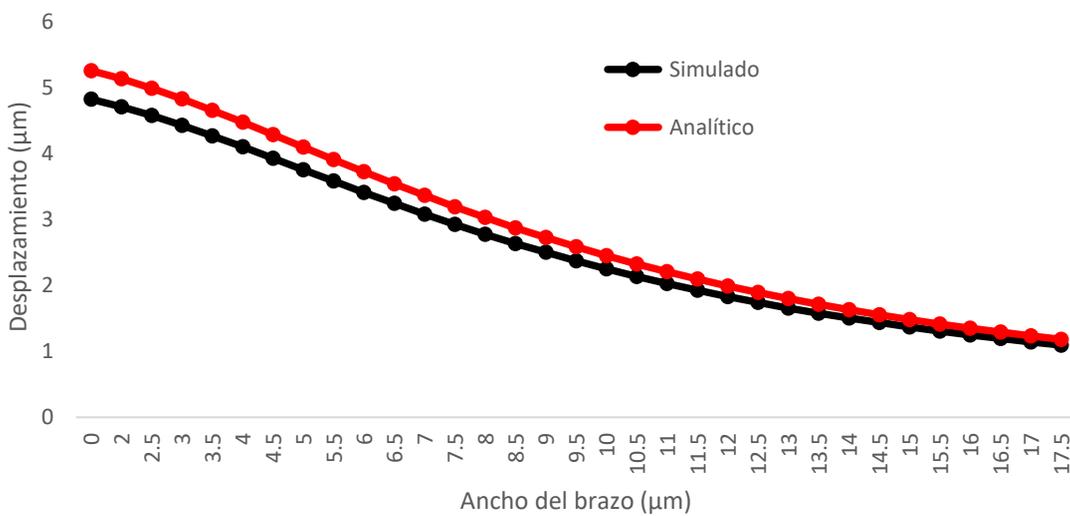
7.6 Parametrización del ancho del brazo

En el gráfico 7.2, se presenta la relación inversamente proporcional entre el ancho del brazo y el desplazamiento de la flecha, de acuerdo con (Kwan, y otros, 2012).

Puede observarse que, si se incrementa el ancho del brazo disminuye el error entre la aproximación analítica y los resultados obtenidos mediante simulación. El error máximo corresponde a 8.3% para el ancho mínimo bajo análisis. Se sugiere utilizar anchos mayores a 5 μm , y de hasta 10 μm , esto debido a que más allá de este valor podría resultar impráctico, puesto que incrementaría considerablemente a la longitud de la flecha, lo que, a su vez, llevaría a aumentar la resistencia de la viga, de acuerdo con la ecuación (5). Se observa que, para todos los valores de anchura considerados existe un comportamiento decreciente.

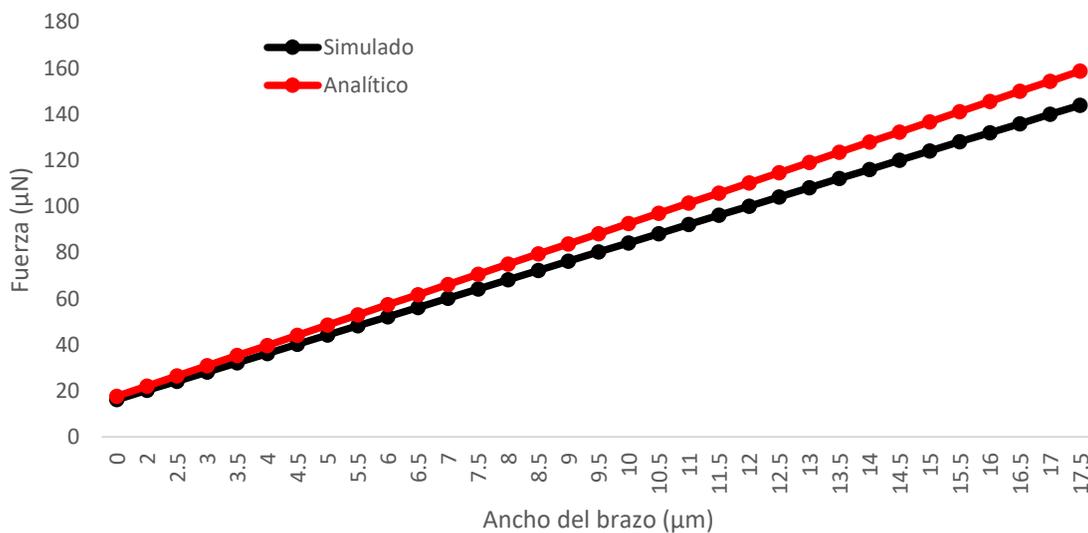
Con relación a la variación del ancho del brazo con la fuerza que se genera en la punta de la flecha, el error entre la aproximación analítica y los resultados de la simulación, se mantiene dentro de un rango aceptable (menor al 9%). Se sugiere nuevamente que, el ancho del brazo se encuentre en un rango de 3 a 10 μm , con la finalidad de que las dimensiones sean prácticas, evitando áreas excesivamente grandes. Se muestra un comportamiento con una alta linealidad en todo el rango bajo análisis. Nuevamente, la aplicación para la que se requiere será determinante en la selección.

Gráfico 7.2 Ancho de brazo contra desplazamiento



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Gráfico 7.3 Ancho de brazo contra fuerza

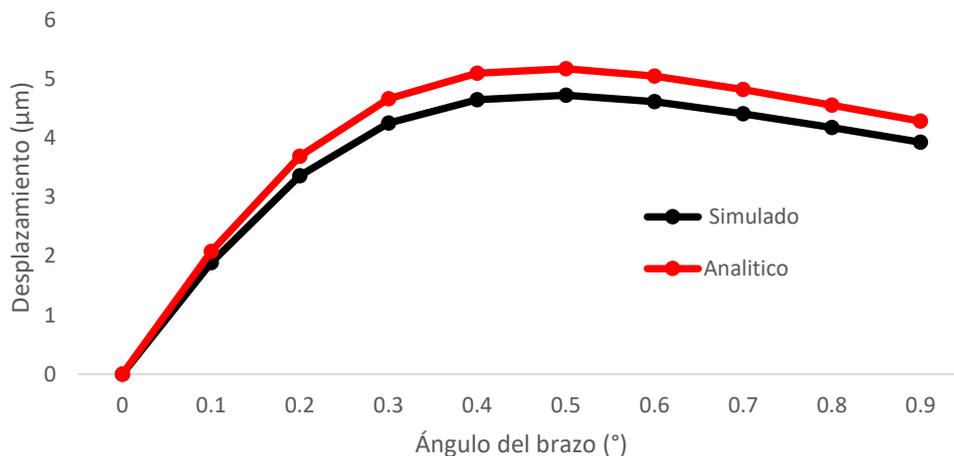


Fuente de Consulta: Elaboración propia

7.7. Parametrización del ángulo de inclinación del brazo

En el gráfico 7.4, se muestra la relación entre ángulo de inclinación y el desplazamiento. Puede observarse que, el porcentaje más alto de error entre los valores corresponde a 8.7% (entre 0.4° y 0.5°). Las curvas muestran un comportamiento no lineal, siendo creciente hasta 0.5° y decreciente más allá de este valor. Para ángulos en el rango de 0.1° hasta 0.3° , se observa un alto incremento en el desplazamiento, sin embargo, la selección de ángulos muy reducidos puede enfrentar problemas de resolución en los procesos de fabricación (Potekhina & Wang, 2019).

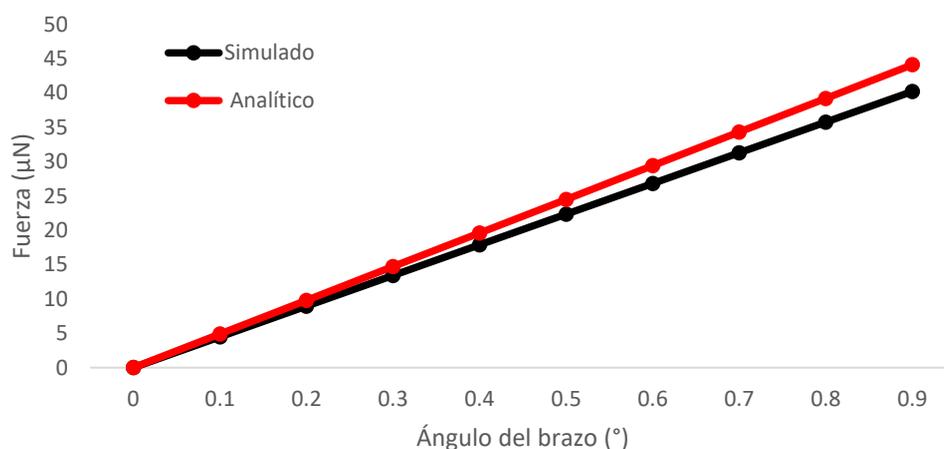
Gráfico 7.4 Ángulo de inclinación contra desplazamiento



Fuente de Consulta: Elaboración propia

Con relación a la variación entre el ángulo de inclinación y la fuerza, mostrada en el gráfico 3.5, se observa nuevamente un comportamiento lineal. El error en 0.1° es 5.3%, mientras que en 0.9° es de 8.8%. Para la selección del ángulo en este rango, deben considerarse nuevamente a las limitaciones del proceso de fabricación y la aplicación a la que se destine.

Gráfico 7.5 Ángulo de inclinación contra fuerza

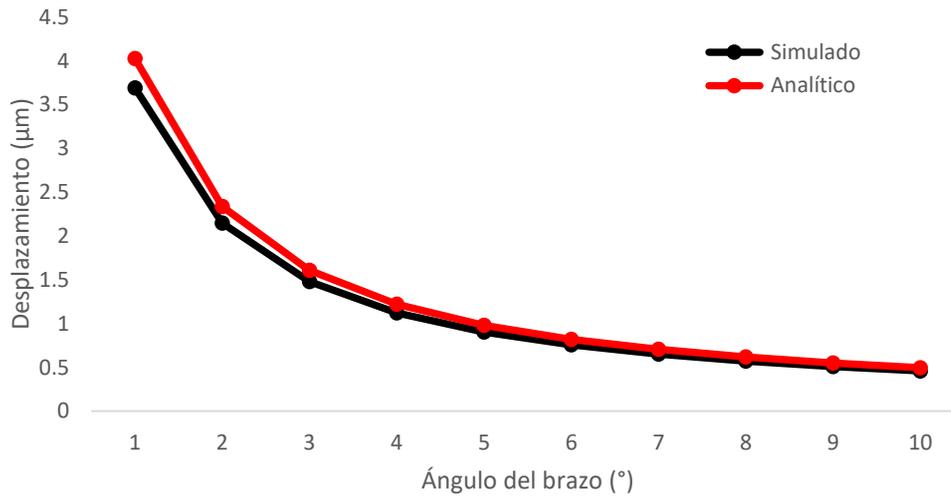


Fuente de consulta: Elaboración propia

Debido a que en la literatura se hallaron valores mayores a los ángulos analizados anteriormente, se realiza una nueva parametrización para valores de ángulo de 1° a 10° . En (Báez Álvarez, Linares Aranda, Calleja Arriaga, & Molina Reyes, 2013), se proponen 3 diseños de actuador chevrón, en los que considera un ángulo de 6° en uno de ellos, mientras que en los 2 restantes de 10° . El gráfico 3.6 muestra la relación entre ángulo y desplazamiento, en la que se observa, un comportamiento decreciente conforme se incrementa el tamaño del ángulo.

El mayor error es del 8.4%. La sugerencia es utilizar ángulos menores a 3° debido al amplio desplazamiento obtenido en la flecha, sin embargo, de acuerdo con la aplicación, debe considerarse también a la fuerza proporcionada (vea Gráfico 7.7).

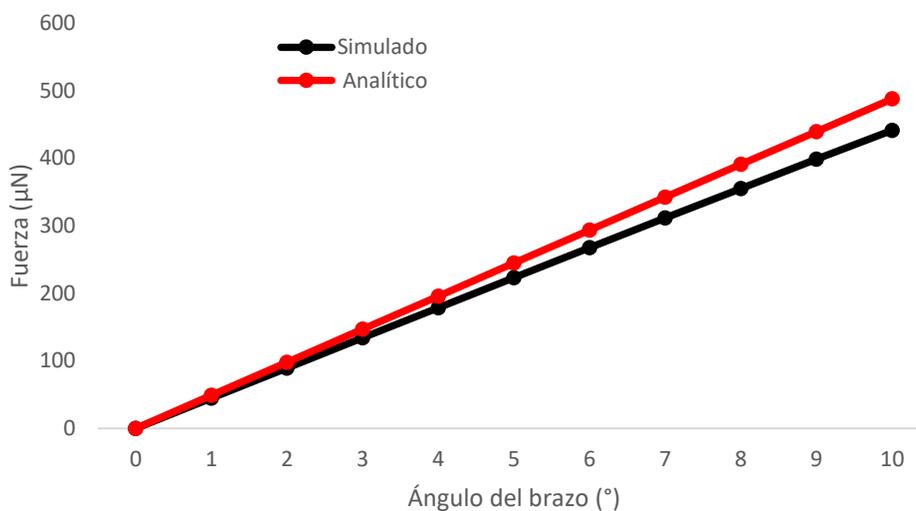
Gráfico 7.6 Ángulo de inclinación contra desplazamiento



Fuente de Consulta: Elaboración propia

En el gráfico 7.7 se observa a la relación del ángulo con la fuerza, se observa que se trata de una relación lineal y que, si lo que se requiere es fuerza, se sugiere utilizar ángulos mayores, de acuerdo con la necesidad a atender. Cabe señalar que, el error máximo se encuentra en 10° y corresponde a 9.6%.

Gráfico 7.7 Ángulo de inclinación contra fuerza

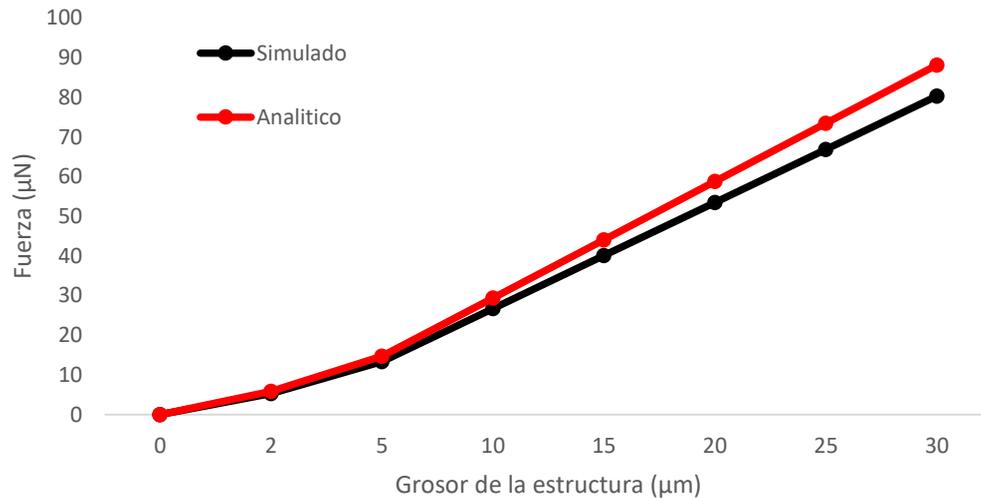


Fuente de Consulta: Elaboración propia

7.8 Parametrización del grosor del actuador chevrón

En este caso, se considera nuevamente a un chevrón de 2 brazos, con las características señaladas en la Tabla 7.2. En el gráfico 7.8, se muestran los valores de la fuerza al variar al grosor del dispositivo. Se observa una variación lineal creciente de $2 \mu\text{m}$ a $30 \mu\text{m}$. En este último valor, se tiene un error de 8.9%. En la literatura se encuentra comúnmente a grosores menores a $5 \mu\text{m}$, en la simulación de dispositivos. En nuestro caso, seleccionamos $15 \mu\text{m}$.

De acuerdo con (Potekhina & Wang, 2019), la rigidez del actuador está influenciada por el grosor, en concordancia con la ecuación 6.

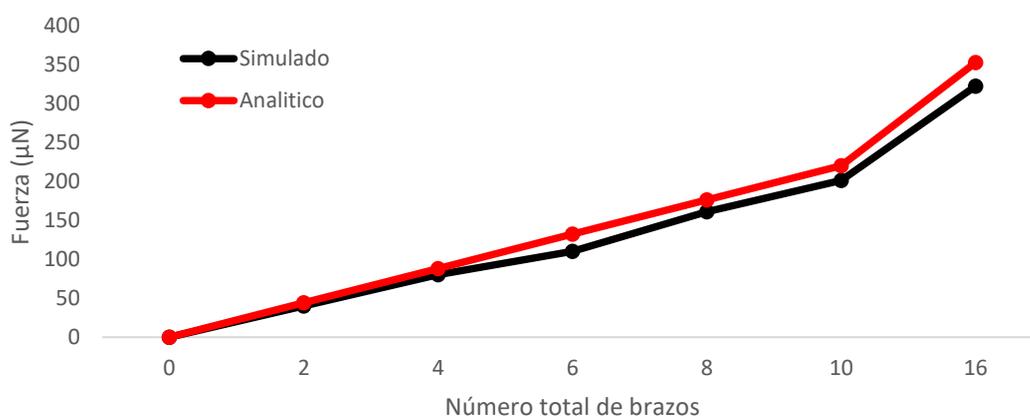
Gráfico 7.8 Grosor del actuador contra fuerza

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Con relación al grosor del dispositivo y sus efectos sobre el desplazamiento, de acuerdo con la ecuación 1, este efecto es muy pequeño, por lo que, no se incluye el gráfico. De manera indirecta, el grosor se incluye en el cálculo del momento de inercia. En la simulación, se obtiene un efecto similar.

7.9 Parametrización del número de brazos del actuador chevrón

El Gráfico 7.9 muestra la relación entre la fuerza y el número de brazos. Los datos mostrados para cada par de brazos, simulados y analítico, se obtuvieron por separado, de manera puntual. Aunque la fuerza se incrementa linealmente con el incremento en el número de brazos, suelen considerarse en general no más allá de 16. Arriba de este número puede generarse una flecha muy larga, lo que provocaría una degradación en el rendimiento, de acuerdo con (Potekhina & Wang, 2019), pues se incrementaría la rigidez. En este caso, el mayor error obtenido fue de 9.39% para 16 brazos.

Gráfico 7.9 Número de brazos del actuador contra fuerza

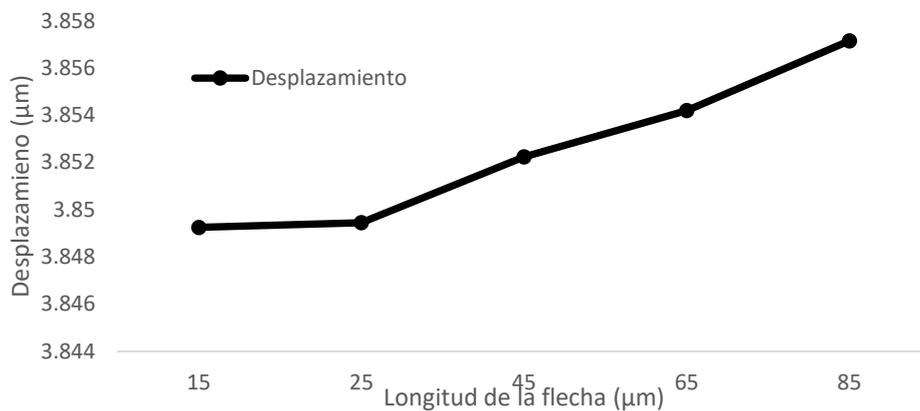
Fuente de Consulta: Elaboración propia

Con relación al número de brazos totales del actuador y el desplazamiento, no se observó un cambio significativo, de 2 a 16 brazos el cambio fue apenas de $0.01 \mu\text{m}$ (desde $3.93 \mu\text{m}$ hasta $3.94 \mu\text{m}$), por lo que no se incluyó el gráfico correspondiente.

7.10 Parametrización del largo de la flecha

En este caso, no se hallaron aproximaciones analíticas, por lo que solo se consideró a la simulación. Este caso fue analizado en (Báez Álvarez, 2011), para varias longitudes, de manera discreta. Se coincide en que, al incrementar la longitud, se incrementa al desplazamiento, aunque no se trata de una relación totalmente lineal. El autor menciona además que, con el incremento en las dimensiones de la flecha, se reduce su temperatura.

Gráfico 7.10 Longitud de la flecha contra desplazamiento

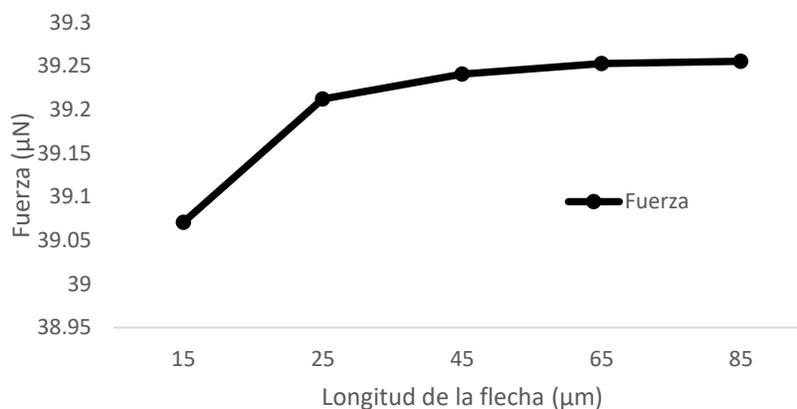


Fuente de Consulta: Elaboración propia

En los Gráficos 7.11 a 7.13 se consideró también, solamente a los resultados de la simulación.

Al incrementar la longitud de la flecha, se tiene un incremento considerable en la fuerza, entre 11 y 20 µm, y de ahí hasta 85 µm, no se observa un incremento notable. Para obtener un comportamiento estable, se sugiere utilizar largo de flecha de 25 a 90 µm. Nuevamente, la selección también depende fuertemente del número de brazos y su anchura. En (Báez Álvarez, 2011), pueden considerarse detalles sobre la distribución de la temperatura.

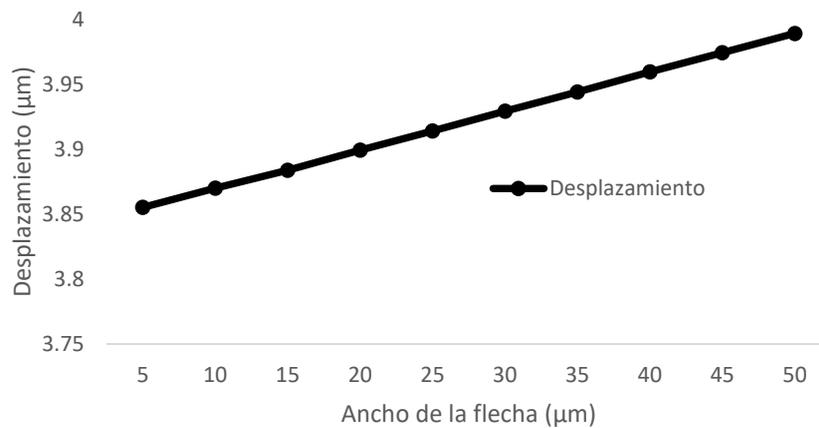
Gráfico 7.11 Longitud de la flecha contra fuerza



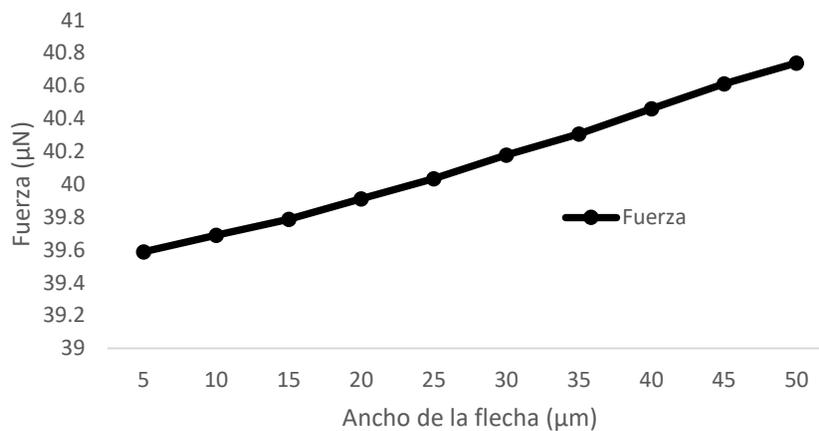
Fuente de Consulta: Elaboración propia

7.11 Parametrización del ancho de la flecha

Las variaciones del ancho de la flecha sobre el desplazamiento y la fuerza se muestran en los Gráficos 7.12 y 7.13. En ambos casos se aprecia la linealidad de la relación, con un comportamiento creciente. Sin embargo, los cambios en el rango de barrido no son significativos.

Gráfico 7.12 Ancho de la flecha contra desplazamiento

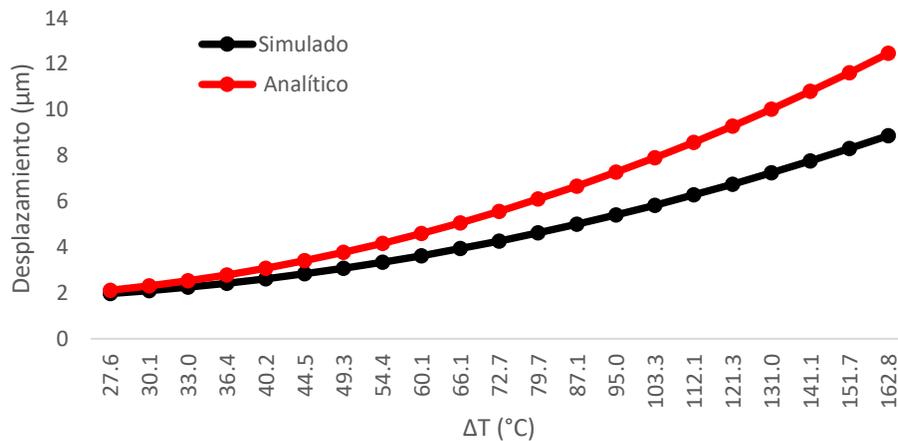
Fuente de Consulta: Elaboración propia

Gráfico 7.13 Ancho de la flecha contra fuerza

Fuente de Consulta: Elaboración propia

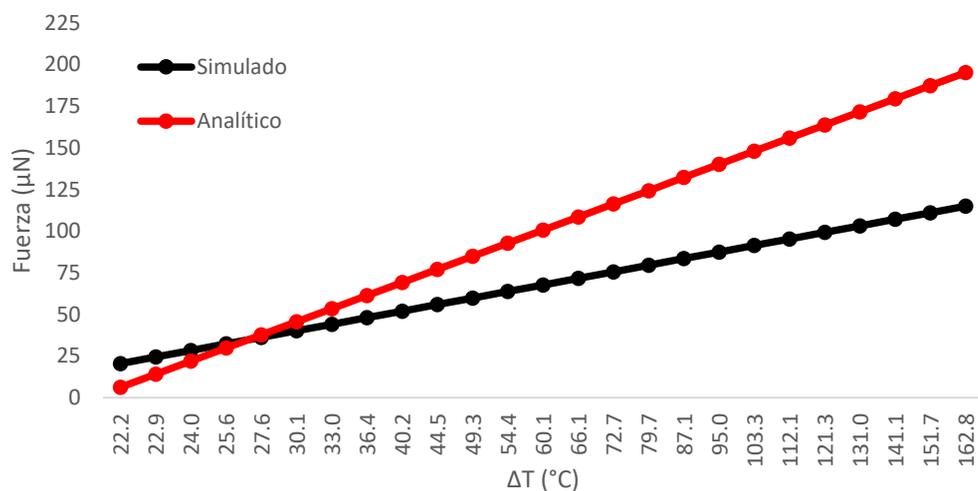
7.12 Parametrización del gradiente de temperatura aplicado

En este caso, el mayor valor del error entre los resultados analíticos, obtenidos de la ecuación 2, y los obtenidos mediante simulación es del 18%. En el Gráfico 7.14, se observa un comportamiento creciente, conforme se incrementa la temperatura, en el rango considerado. El valor del coeficiente de expansión térmica se mantuvo constante, como comúnmente se lleva a cabo en la literatura. En (Steiner, Hortschitz, Stifter, & Kepli, 2014), las mediciones del desplazamiento de un actuador chevrón con respecto al cambio de temperatura, muestra también un comportamiento prácticamente lineal. El rango de trabajo del actuador, también depende de la aplicación a la que se destine, siendo deseable emplear estrategias de reducción de temperatura, en el caso de objetivos de sujeción sensibles, cuando se utiliza al chevrón como medio de actuación de micropinzas.

Gráfico 7.14 Gradiente de temperatura vs desplazamiento

Fuente de Consulta: Elaboración propia

En el gráfico 7.15 se observa la relación de la temperatura con la fuerza, con un comportamiento creciente y lineal. El error mayor entre las aproximaciones analítica y mediante simulación corresponde a 41.5%. Los incrementos observados en la simulación no son tan considerables, como en el caso analítico. Cabe señalar, que nuevamente, se sugiere trabajar en un rango de temperatura no elevado, de acuerdo con los elementos con los que se interaccione.

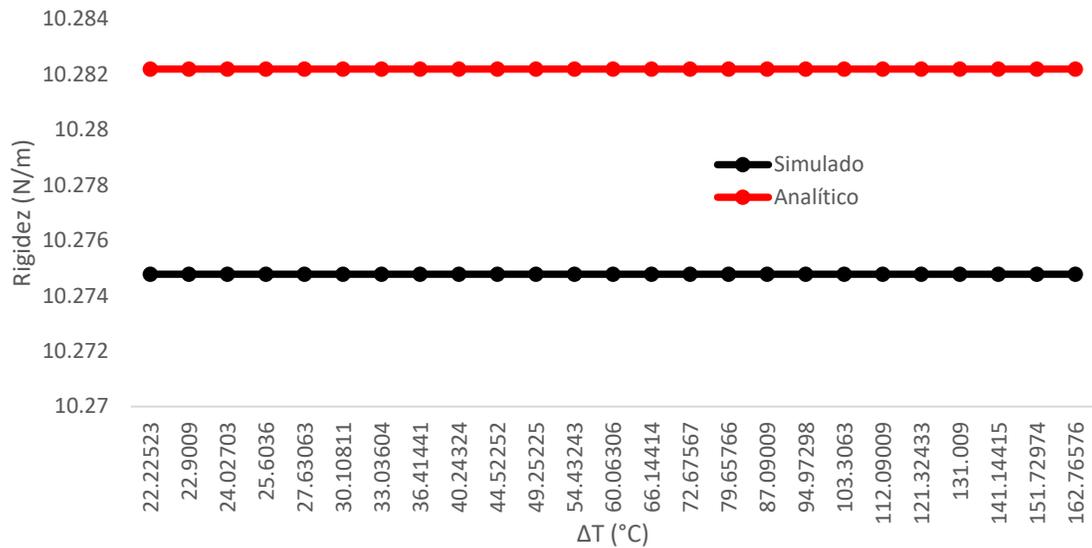
Gráfico 7.15 Gradiente de temperatura vs fuerza

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Cabe señalar que, con la finalidad de obtener un análisis más preciso, del efecto de la temperatura, es necesario considerar, en un trabajo futuro, que el coeficiente de expansión térmica no es constante con el cambio en la temperatura, por lo que, es deseable utilizar la expresión desarrollada en (Swenson, 1983), o bien, por los valores discretos que proporciona. Además, de realizar una búsqueda sobre este coeficiente, para temperaturas mayores a 100°C, o expresiones alternativas.

La constante de rigidez no muestra afectaciones con la temperatura (Gráfico 7.16), con un error entre las aproximaciones analítica y los resultados de la simulación, tan solo de 0.09%.

Gráfico 7.16 Gradiente de temperatura vs rigidez



Fuente de Consulta: Elaboración propia

7.13 Anexo

Proceso de parametrización en Ansys Workbench del ancho del brazo, obteniendo el desplazamiento y la fuerza generados en la flecha del actuador chevrón

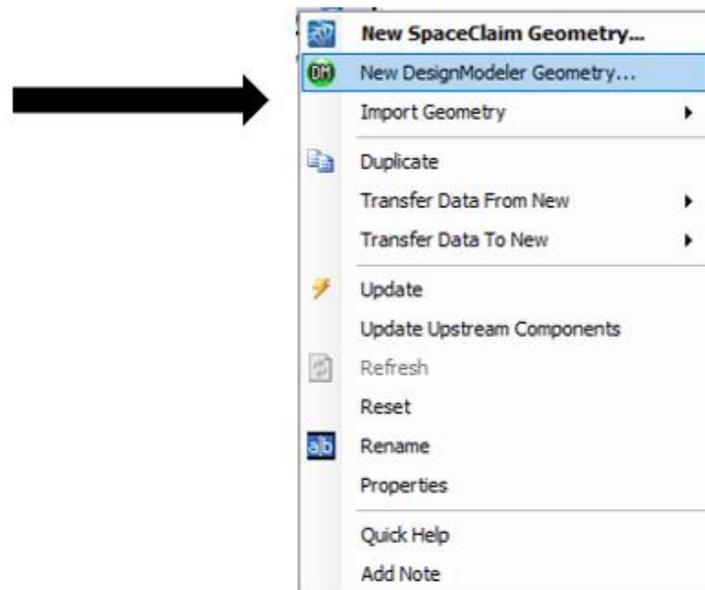
Se presenta este caso como ejemplo de parametrización. Los demás casos, se llevan a cabo de manera similar.

Paso 1. Elaboración de la geometría en el área de trabajo de *Project*

En esta etapa, se parametriza el ancho del brazo. Al abrirse la ventana Geometry (Figura 7.2), con clic derecho en el **plano XY** → **sketch 1** → **details view** (sección inferior derecha de la ventana) (Figura A.2), se selecciona la casilla **V1**, correspondiente al ancho del microactuador, y automáticamente el recuadro se rellena con la letra **D**, al mismo tiempo, se despliega una ventana, donde se solicita colocar un nombre o identificación del parámetro a crear.

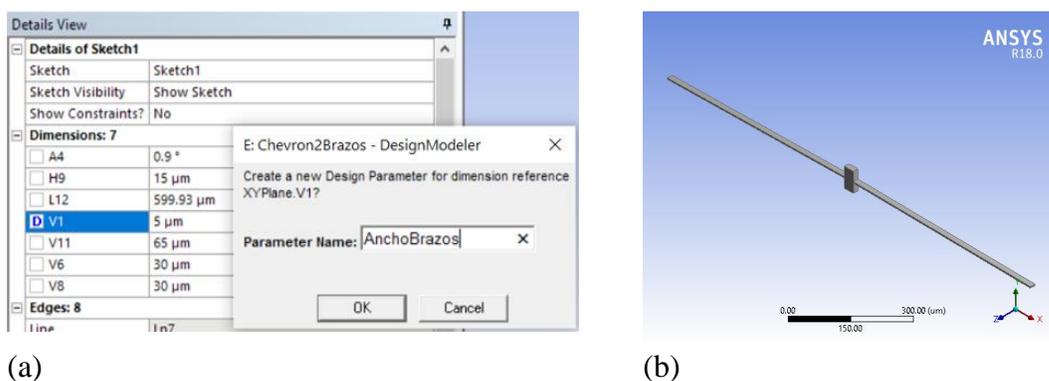
Figura 7.2 Secuencia de pasos para la parametrización geométrica





Fuente de Consulta: Elaboración propia

Figura 7.3 (a) Ventana de asignación para un identificador del parámetro. (b) Geometría del microactuador chevrón



(a)

(b)

Fuente de Consulta: Elaboración propia

Paso 2. Establecimiento de la variable a parametrizar, asignación de *static structural* para el cálculo de desplazamiento y fuerza

Cerramos la ventana de la geometría y en *Project Schematic* damos doble clic sobre *Geometry*, mostrándose la ventana de la Figura 7.4. En la columna B se ubica el ancho de la geometría que estará variando, y que permitirá observar el comportamiento, de acuerdo con las variables de desempeño consideradas (fuerza y desplazamiento).

Figura 7.4 Tabla de diseño de puntos para la parametrización

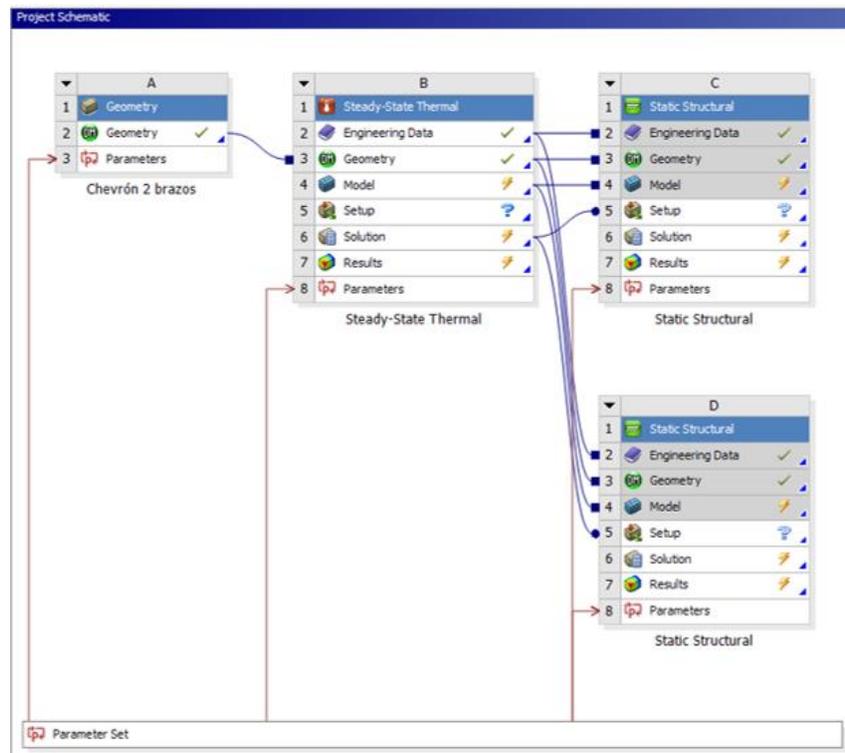
Table of Design Points					
	A	B	C	D	E
1	Name	P1 - AnchoBrazos	Retain	Retained Data	Note
2	Units	um			
3	DP 0 (Current)	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
*			<input type="checkbox"/>		

Fuente de Consulta: Elaboración propia

De *Analysis Systems* seleccionamos y arrastramos *Steady-state Thermal* y lo posicionamos a un costado de *Geometry*, doble clic en el *Engineering Data* y se asigna el material (Silicio).

Posteriormente, con esa carga térmica y por las propias características del microactuador, éste desarrollará un desplazamiento proporcional a la fuerza. Arrastramos dos *Static Structural* que se unirán al *Steady-State Thermal*, que nos permite visualizar al desplazamiento y a la fuerza (Figura 7.5).

Figura 7.5 Árbol de herramientas para el análisis térmico del dispositivo microactuador

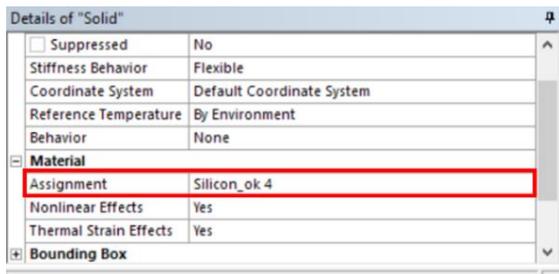


Fuente de Consulta: Elaboración propia

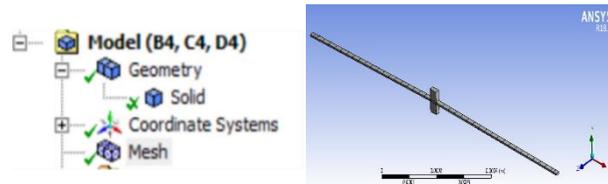
Paso 3 Asignación del material, temperatura y mallado del dispositivo

Al dar doble clic en *Model* del *Steady-state Thermal*, se visualiza la ventana del análisis termomecánico. Para obtener los resultados con las condiciones de frontera específicas, se debe llevar a cabo la secuencia de pasos mostrada en la Figura 7.6

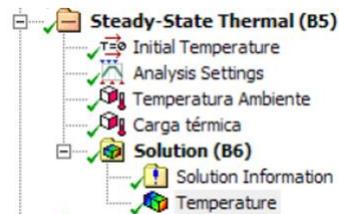
Figura 7.4 Árbol de análisis térmico. (a) Asignación del material. (b) Mallado. (c) En *initial Temperature* reajustar a 0°, renombramiento de *Temperature 1* en *Temperatura ambiente* y asignación a 22 °C. (d) Asignación de la parametrización de la carga térmica. (e) Oprimir *Generate* y visualización de la distribución de la temperatura



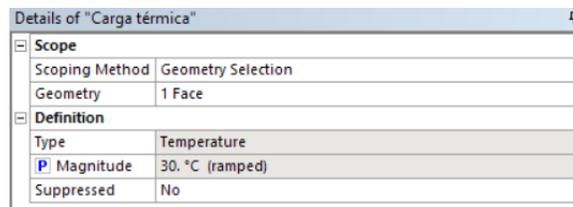
(a)



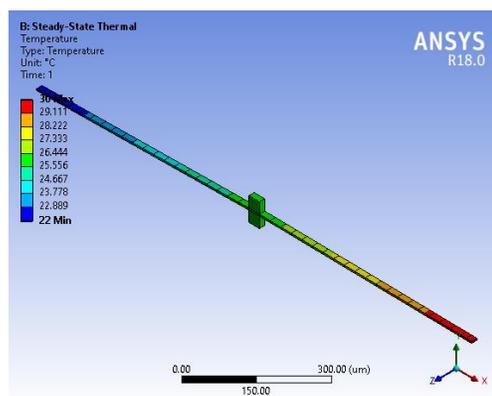
(b)



(c)



(d)



(e)

Fuente de Consulta: Elaboración propia

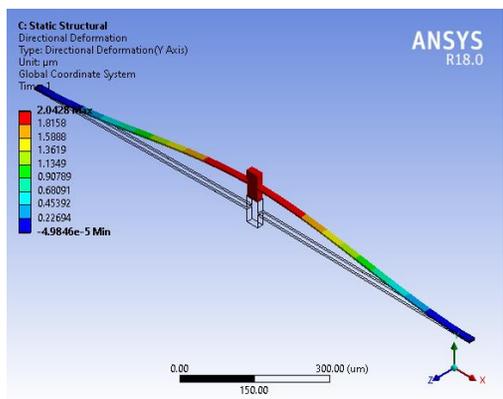
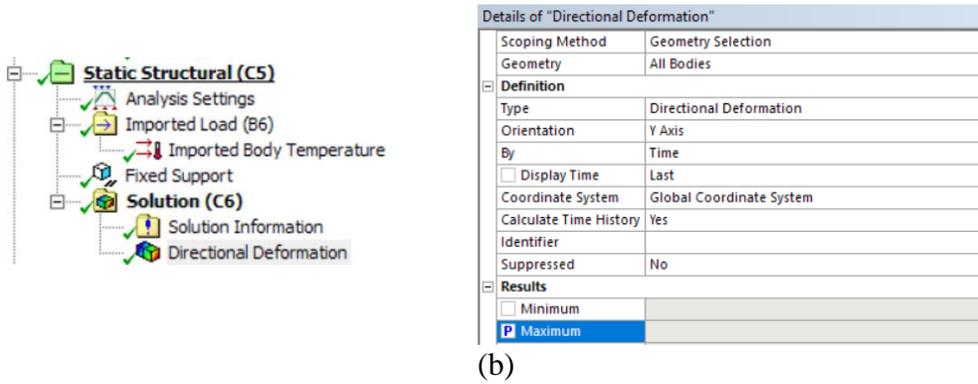
Puede observarse que, se eligió la malla por default, que debido a la geometría del dispositivo bajo análisis, es rectangular. En casos, en los que la geometría sea compleja y que implique la no convergencia de los elementos del mallado, se realiza un refinamiento de malla, que en general, es adaptativo.

Para un nivel macrométrico, en (Araujo, Briceño, & Rondón, 2020), se analizan los casos de mallas triangulares y cuadradas, al utilizar el software ABAQUS, concluyendo que los resultados que obtienen en sus simulaciones son similares a los resultados experimentales. En (Cagua, Haro, & Pilatasig, 2020), se realiza el análisis mediante Elemento Finito, para vigas de acople, y se llega a la conclusión de que la simulación es una herramienta adecuada para el análisis, pero que es necesaria la experimentación.

El Paso 4 Obtención del desplazamiento y la fuerza de reacción

El desplazamiento se obtiene a partir del árbol de análisis mostrado en la Figura 7.7

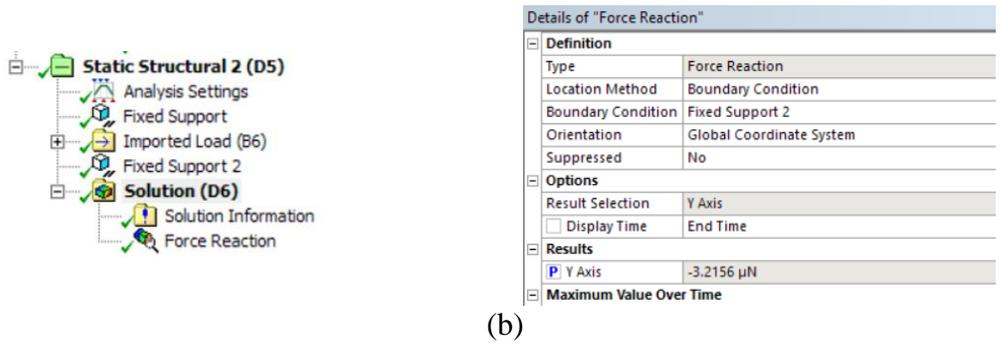
Figura 7.7 Árbol de análisis estático estructural. (a) En *static structural* asignar 22 °C, en la ventana de detalles, y clic derecho → *Insert* → *Fixed Support*, asignarlo en las anclas. (b) En *Definition* → *Type*, colocar *Directional deformation* y en *orientation*, elegir *Y axis*. Se selecciona la parametrización del desplazamiento máximo. (c) Visualizar el desplazamiento a partir de la carga térmica asignada

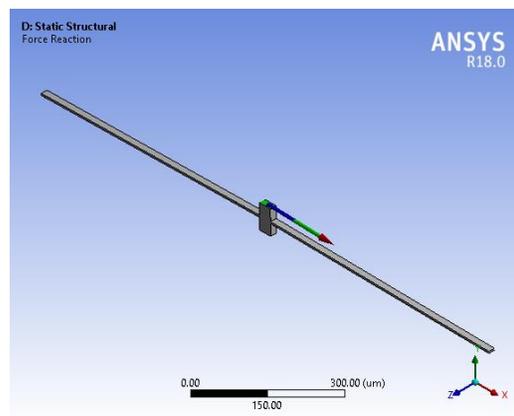


Fuente de Consulta: Elaboración propia

La fuerza de reacción se obtiene a partir del árbol de análisis mostrado en la Figura 7.8.

Figura 7.8 Árbol de análisis estático estructural para la obtención de la fuerza de reacción de la flecha. (a) En *static structural* asignar 22 °C, clic derecho y elegir *fixed support* dos veces, una es para las anclas y la otra que se debe asignar en la cara frontal de la flecha, clic derecho en *solution* → *Insert* → *Probe* → *Force Reaction*, en la ventana de detalles elegir *Fixed support 2* y *Generate*. (b) En la sección de detalles en *Results* asignar la parametrización sobre el eje correspondiente. (c) Visualización de la fuerza de reacción.





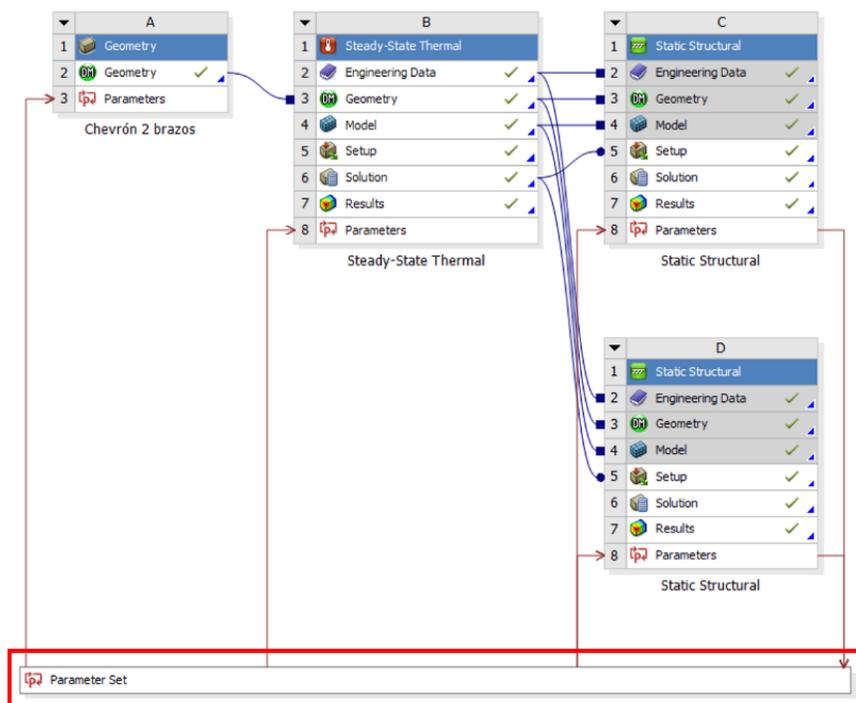
(c)

Fuente de Consulta: Elaboración propia.

Paso 5. Despliegue numérico de los resultados

Regresando a la ventana principal de Ansys Workbench en *Project Schematic*, dar doble clic en *Parameter Set*, parte inferior izquierda de la ventana, para realizar la asignación de la variación del ancho de los brazos del dispositivo manualmente, en un intervalo de 2 μm a 11.5 μm , con la finalidad de tener un margen de seguridad. Se sigue el procedimiento mostrado en la Figura 7.9. Los resultados numéricos de la parametrización pueden exportarse a un graficador, que es lo que se hace en este capítulo, utilizando Origin.

Figura 7.9 (a) Árbol de las herramientas de análisis de *project*. (b) En la columna B se realiza la variación del parámetro, posteriormente en la parte superior izquierda en *Update All Design Points*, dar clic y se realizará la simulación paramétrica de las variables asignadas, realizándose la solución para desplazamiento y la fuerza



(a)

Table of Design Points				
	A	B	C	D
1	Name	P1 - ANCHO	P2 - Total Deformation Maximum	P3 - Force Reaction Mir
2	Units	um	m	N
3	DP 0 (Current)	2	4.8233E-06	-1.6126E-05
4	DP 1	2.5	4.7094E-06	-2.0147E-05
5	DP 10	7	3.2443E-06	-5.6125E-05
6	DP 11	7.5	3.0822E-06	-6.0108E-05
7	DP 12	8	2.9265E-06	-6.409E-05
8	DP 13	8.5	2.7769E-06	-6.8098E-05
9	DP 14	9	2.636E-06	-7.2191E-05
10	DP 15	9.5	2.5012E-06	-7.6173E-05
11	DP 16	10	2.3724E-06	-8.017E-05
12	DP 17	10.5	2.2508E-06	-8.4142E-05
13	DP 18	11	2.1365E-06	-8.8152E-05
14	DP 19	11.5	2.0279E-06	-9.2119E-05

Chart: No data

(b)

Fuente de Consulta: Elaboración propia

7.14 Conclusiones

En este capítulo, se analizó la parametrización de los elementos de un actuador chevrón y se analizaron sus efectos sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción en la flecha. Se presentan porcentajes de error, entre los resultados analíticos y los obtenidos mediante la simulación, menores al 10%, excepto en los casos de gradiente de temperatura contra fuerza y desplazamiento. Por lo que, es deseable que en un trabajo futuro se considere a la variación de los parámetros del material que dependen de la temperatura, en particular, del coeficiente de expansión térmica.

Con las parametrizaciones realizadas, pueden generarse recomendaciones que pueden ser útiles en el diseño de este tipo de actuadores. Las tendencias observadas de manera gráfica coinciden con los resultados que se hallaron en la literatura, correspondientes a otros grupos de trabajo, obtenidos mediante la simulación de manera discreta.

Los procesos de parametrización, al realizar barridos rápidos de manera automatizada, reducen considerablemente el tiempo para obtener información sobre la tendencia del desempeño que muestra cada uno de los elementos bajo análisis, previendo el comportamiento del dispositivo. En este caso, la parametrización de los elementos seleccionados y su efecto sobre el desplazamiento y la fuerza de reacción del actuador chevrón, permiten contar con criterios de selección de las dimensiones más adecuadas. Debe considerarse, además, que se satisfagan los requerimientos establecidos por la aplicación a la que se destinará el actuador, y también a los procesos de fabricación que se emplearán.

La simulación es una herramienta necesaria para obtener una aproximación sobre el desempeño de los dispositivos bajo análisis, para posteriormente implementarlos o fabricarlos, reduciendo el riesgo de posibles fallas que impliquen pérdidas económicas y de tiempo relacionadas. Una vez fabricados los prototipos, es posible realizar las pruebas experimentales para probar la factibilidad de su aplicación.

7.15 Agradecimiento

Esta investigación fue financiada por CONACyT, con número de referencia A1-S-33433, "Proyecto Apoyado por el Fondo Sectorial de Investigación para la Educación".

7.16 Referencias

- ANSYS Inc. (2011). *Optimization in ANSYS Workbench*. Obtenido de ANSYS Inc.: <https://support.ansys.com/staticassets/ANSYS/Conference/Confidence/Houston/Downloads/optimization-in-ansys-workbench.pdf>
- ANSYS Inc. (s.f.). *Parametric Analysis: The Key to Rapid, Robust Design*. Obtenido de White paper: <https://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resourcelibrary/whitepaper/wp-parametric-analysis.pdf?la=en&hash=4445A7D983C59F29A4E470B6D7721C2245948FF0>.
- Araujo, N., Briceño, Á., & Rondón, A. (2020). Análisis comparativo de modelos bidimensionales con el método de elementos finitos y probetas fabricadas con mezclas asfálticas ensayadas con marco Lottman. *Revista Ciencia e Ingeniería*. Vol. 41, No. 1, 99-110.
- Báez Álvarez, C. R. (2011). *Caracterización de Microactuadores Tipo Chevrón Fabricados con la Tecnología PolyMEMS-INAOE*. Tesis de Maestría. Tonantzintla, Puebla, Puebla, México: INAOE.
- Báez Álvarez, C. R., Linares Aranda, M., Calleja Arriaga, W., & Molina Reyes, J. (2013). Effect of Changing the Material and Device's Properties on the Performance of Polysilicon-Based MicroActuators. *International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control* (págs. 415-420). CDMX: IEEE. DOI: 10.1109/ICEEE.2013.6676054.
- Baracu, A., Voicu, R., Müller, R., Avram, A., Pustan, M., Radu, C., . . . Dulescu, C. (2015). Design and fabrication of a MEMS chevron-type. *INTERNATIONAL CONFERENCES AND EXHIBITION ON NANOTECHNOLOGIES AND ORGANIC ELECTRONICS (NANOTECHNOLOGY 2014): Proceedings of NN14 and ISFOE14*, (págs. 25-30). Alemania.
- Béjar, S. (2019). *Análisis Paramétrico del Comportamiento a Fatiga de Pezas Torneadas eb Seco de la Aleación UNS A97075 (AL-ZN)*. MÁLAGA.
- Cagua, B., Haro, A., & Pilatasig, J. (2020). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE ACOPLA CON DIFERENTE RELACIÓN DE LONGITUD VS PERALTE MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras Vol. 25, 2*, 167-182, DOI:10.24133/riie.v25i2.1624.
- Cauchi, M., Grech, I., Bertram, M., Pierluigi, M., Portelli, B., & Sammut, N. (2019). Essential design and fabrication considerations for the reliable performance of an electrothermal MEMS microgripper. *Microsystem Technologies*, 16. DOI: 10.1007/s00542-019-04363-w.
- Elbuken, C., Gui, L., Ren, C., Yavuz, M., & Khamesee, M. (2008). Design and analysis of a polymeric photo-thermal microactuator. *Sensors and Actuators A: Physical*. Volume 147, Issue 1, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2008.04.019>.
- González, O., Martínez, G., & Graciano, C. (2020). Evaluación paramétrica de las principales variables geométricas en el diseño de un tren de aterrizaje para un avión no tripulado utilizando el método de los elementos finitos. *Revista UIS Ingenierías Vol. 19, n.º 2*, 149-160.
- Huber, J. E., Fleck, N. A., & Ashby, M. F. (1997). The selection of mechanical actuators based on performance indices. *Proc. of the Royal Society A*. (págs. 2185-2205). London: The Royal Society Publishing. <https://doi.org/10.1098/rspa.1997.0117>.
- Iamoni, S., & Somà, A. (2014). Design of an electro-thermally actuated cell microgripper. *Microsystem Technologies* 20, 869–877. DOI: 10.1007/s00542-013-2065-8.
- Judy, J. (2001). Microelectromechanical system (MEMS): Fabrication, design and applications. *Smart Materials and Structures* 10(6), 1115-1134. DOI: 10.1088/0964-1726/10/6/301.

- Jui-Chang, K., Hen-Wei, H., Shu-Wei, T., & Yao-Joe, Y. (2014). A hydrogel-based intravascular microgripper manipulated using magnetic fields. *Sensors and Actuators A: Physical* 211, 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.02.028>.
- Kaajakari, V. (2009). *Practical MEMS*. Las Vegas, NV 89107: Small Gear Publishing.
- Kwan, A., Song, S., Lu, X., Lu, L., Teh, Y.-K., Teh, Y.-F., . . . Zeng, F. (2012). Improved design for an electrothermal in-plane microactuator. *Microelectromech Syst Vol. 21 No. 3*, 586-595.
- Li, M., Zhou, Z., Yi, L., Wang, X., & Adnan, S. (2019). Design of a test structure based on chevron-shaped thermal actuator for in-situ measurement of the fracture strength of MEMS thin films. *Science Direct*, 163-168.
- Potekhina, A., & Wang, C. (2019). Review of Electrothermal Actuators and Applications. *Actuators, MDPI Vol. 8(4)*, 28 páginas. <https://doi.org/10.3390/act8040069>.
- Steiner, H., Hortschitz, W., Stifter, M., & Kepli, F. (2014). Thermal actuators featuring large displacements for passive. *Microsyst Technol. Vol. 20*, 551–557.
- Swenson, C. A. (1983). Recommended Values for the Thermal Expansivity of Silicon from 0 to 1000 K. *Journal of Physical and Chemical* 12, 179, 179-182. <https://doi.org/10.1063/1.555681>.
- Tazabekov, O. (2015). *CMOS-MEMS RESONANT GATE Transistor-Based Devices*. University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Trung Hoang, K., Tien Nguyen, D., & Hong, P. (2019). Impact of design parameters on working stability of the electrothermal V-shaped actuator. *Microsystem Technologies* 26, 1479–1487.
- Vargas Chable, P., Ferrara Bello, C., Josue, S., Tecpoyotl Torres, M., & Varona, J. (2019). A novel electrothermal compliance microgripper. *2019 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)* (págs. 74-78). Cuernavaca, Morelos: IEEE. DOI 10.1109/ICMEAE.2019.00021.
- Vargas Chable, P., Ferrara Bello, C., Tecpoyotl Torres, M., Varona, J., & Sandoval Reyes, J. (2019). A novel electrothermal compliance microgripper. *IEEE*, 6.
- Vargas-Chable, P., Tecpoyotl-Torres, M., Robles-Casolco, S., & Cabello-Ruiz, R. (2015). Structural optimization of an electrothermal chevron V- shape microactuator device. *2015 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)* (págs. 262-267). Cuernavaca, Morelos: IEEE. DOI: 10.1109/ICMA.2015.7237626.
- Wang, Z., Shen., X., & Chen, X. (2015). Design, modeling, and characterization of a MEMS electrothermal microgripper. *Microsystem Technology* 21, 2307–2314. DOI: 10.1007/s00542-014-2404-4.
- Yang, S., & Qingsong, X. (2017). A review on actuation and sensing techniques. *Micro-Bio Robot* 13, 1-14.
- Yole Developpement. (2019). STATUS OF THE MEMS INDUSTRY 2019. Market & Technology. *Yole Developpement*, 3. Disponible en: https://yole-i-micronews-com.osu.eu-west-2.outscale.com/uploads/2019/06/YD19031_Status_of_the_MEMS_industry_2019_Sample_Yole_Deve loppement.pdf.
- Yong, Z., Corigliano, A., & D Espinosa, H. (2006). A thermal actuator for nanoscale in situ microscopy testing: design and characterization. *Journal of Micromechanics and Microengineering Volume 16, Number 2*, 242-253.
- Yukun, J., Nimping, J., & Qingsong, X. (2014). A Dual-Axis Electrostatically Driven MEMS Microgripper. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ROBOTIC SYSTEM* 11:187., 9 pages. <https://doi.org/10.5772/59677>.

Zhu, Y., Corigliano, A., & Espino, H. (2016). A thermal actuator for nanoscale in situ microscopy testing: design and characterization. *J. Micromech. Microeng.* 16, 242–253.

Zhuo, Z., Yueqing, Y., Xinyu, L., & Xuping, Z. (2015). A Comparison Model of V- and Z-shaped Electrothermal Microactuators. *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (pág. 6 pages.). Beijing, China: IEEE. DOI: 10.1109/ICMA.2015.7237626.

Capítulo 8 Infraestructura de telecomunicaciones para habilitar la Red Eléctrica Inteligente en México

Chapter 8 Telecommunications infrastructure to enable the Smart Grid in México

URIARTE-RAMÍREZ, Irma†*, BARBOZA-TELLO, Norma Alicia, MARTÍNEZ-PLATA, Daniela Mercedes y MEDINA-CASTRO, Paúl

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

ID 1^{er} Autor: *Irma, Uriarte-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0002-9442-8731, **CVU CONACYT ID:** 671766

ID 1^{er} Coautor: *Norma Alicia, Barboza-Tello* / **ORC ID:** 0000-0002-1009-3672, **CVU CONACYT ID:** 46396

ID 2^{do} Coautor: *Daniela Mercedes, Martínez-Plata* / **ORC ID:** 0000-0003-2814-2820, **CVU CONACYT ID:** 314777

ID 3^{er} Coautor: *Paúl, Medina-Castro* / **ORC ID:** 0000-0003-3306-1494, **CVU CONACYT ID:** 42360

DOI: 10.35429/H.2020.5.141.156

I. Uriarte, N. Barboza, D. Martínez y P. Medina

irma_ur@uabc.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Las Red Eléctrica Inteligente (REI), conocida también como Smart Grid (SG) surge como respuesta a la necesidad de modernizar la red eléctrica actual, transformando la forma de distribuir, comercializar y consumir la energía. La REI proporciona una comunicación bidireccional entre proveedores de servicio y los usuarios conectados a ella. La infraestructura de telecomunicaciones es considerada como “la segunda red”, la cual es tan crítica en la operación de la REI como los elementos primarios. Por lo tanto, la infraestructura de telecomunicaciones deber ser planeada, diseñada, implementada y administrada con el mismo cuidado que la infraestructura eléctrica. En México se necesitan determinar los futuros usos y requerimientos de las telecomunicaciones y evaluar si las tecnologías existentes cumplen con estos requerimientos. El presente capítulo tiene por objetivo evaluar las tecnologías existentes o emergentes a través de una revisión de la literatura para el uso potencial de cada una ellas en la REI. Así también, se describen algunos de los retos a los que se enfrenta este nivel de la red.

Red eléctrica inteligente, telecomunicaciones, arquitectura de red

Abstract

The Smart Grid (SG) emerges in response to the modernization of the current power grid, transforming the way of distributing, marketing and consuming energy. The SG provides two-way communication between service providers and its connected users. In the SG the telecommunications infrastructure is considered as “the second network”, which is critical in the operation as the SG primary elements. Therefore, the telecommunications infrastructure must be planned, designed, implemented, and managed with the same care as the electrical infrastructure. In Mexico, it is necessary to determine the future telecommunications usage and requirements, and also it is indispensable to evaluate if the existing technologies will fulfill these requirements. This chapter is a literature review that aims to evaluate the current and emerging technologies as potential candidates to the SG, as well as, some challenges at network level are identified.

Smart Grid, telecommunications, network architecture

8. Introducción

El término red inteligente se usa comúnmente para referirse a la modernización del sistema eléctrico, en la que se emplean modelos nuevos y sostenibles para la producción, la distribución y el uso de energía a través de la incorporación de: comunicación generalizada y capacidad de monitoreo, funciones de gestión distribuidas y de control autónomo, como se muestra en la Figura 8.1. Las redes actuales son unidireccionales y a gran escala, con sistemas centralizados en los que la entrega de electricidad desde plantas de energía remotas se realiza a través de una distribución de árbol a los usuarios con perfiles de carga preestablecidos. Sin embargo, una serie de innovaciones han surgido en la última década que ha hecho obsoleto los sistemas de energía tradicionales y poco adecuados para cumplir con requisitos de confiabilidad, eficiencia y sostenibilidad. Aunque existen diferentes puntos de vista sobre lo que será el modelo definitivo de una red inteligente, las siguientes capacidades son clave y esenciales para la implementación exitosa de la red (Ancillotti, Bruno, & Conti, 2013):

- Permitir el despliegue masivo y el uso eficiente de los recursos energéticos distribuidos, incluidas las fuentes de energía renovables y los sistemas de almacenamiento de energía.
- Mejorar la eficiencia y sostenibilidad de una red eléctrica mediante la incorporación de inteligencia distribuida en tiempo real permitiendo funciones automatizadas de protección, optimización y control.
- Permitir la interacción de los consumidores con los sistemas de gestión de energía para proporcionar la respuesta a la demanda y las funcionalidades de conformación de carga.
- Permitir en tiempo real una supervisión del estado y de las operaciones de la red, a través del uso de servicios de medición y monitoreo avanzados.

- Apoyar al sistema de transmisión de energía eléctrica facilitando el uso de vehículos eléctricos como un recurso energético móvil.

Figura 8.1 Red Eléctrica Inteligente



Fuente de Consulta: Recuperado de (CEDU, 2013)

Para que la red inteligente sea una realidad se necesita una infraestructura de comunicación sólida, confiable y eficiente que asegure el intercambio de información. En estas redes se espera la interconexión de muchos sistemas de comunicación. Sin embargo, los sistemas de comunicación actuales no están diseñados para sustentar las nuevas demandas de la red inteligente. Por esta razón, varios trabajos de investigación están orientados a la búsqueda de soluciones en lo referente a la tecnología de comunicación para habilitar la red. En (Gungor, y otros, 2011) los autores abordan cuestiones críticas sobre tecnología para la REI en términos de desafíos y oportunidades proporcionando una visión del estado de la tecnología. Por su parte (Ma, Chen, Huang, & Meng, 2013) identifican tres desafíos: la interoperabilidad de estándares, el acceso sin licencia y la seguridad. Los autores de (Ancillotti, Bruno, & Conti, 2013) presentan un modelo conceptual de la red basada en datos, donde identifican componentes funcionales, tecnologías, topologías de red y de servicios desde el punto de vista no sólo tecnológico sino también económico. En (Dileep, 2020) se exploran las tecnologías que conformarán la red, por ejemplo: sensores inteligentes, vehículos eléctricos, actuadores, etc. Describe también el uso del cómputo en la nube para las aplicaciones de REI. En lo que respecta a Latinoamérica en (Guido, 2020), plantea una visión bajo la perspectiva de la sociología de la implementación de una red inteligente en una ciudad de Argentina. Finalmente (León-Trigo, Reyes-Archundia, Gutiérrez-Gnecchi, & Méndez-Patiño, 2019) presentan un panorama general del estado de la REI en México y un estudio de viabilidad para construir una Micro REI.

En este capítulo se contribuye en el nivel de comunicación en la REI mediante la evaluación de las características de las tecnologías actuales para su posible uso en la red considerando el Programa de Redes Inteligentes (Energía, Documentos, 2017) de la SENER (Secretaría de Energía). La organización de las secciones restantes de este capítulo es la siguiente: en la sección 2 se describe la situación de la red en México y se describe el proyecto para la evaluación de tecnologías de comunicación por parte de la CENACE (Centro Nacional de Control de Energía), CFE (Comisión Federal de Electricidad) Transmisión y Distribución. En la sección 3 se presenta la metodología, continuando con los resultados en la sección 4. Las conclusiones de este trabajo se encuentran en la sección 5.

8.2 Situación actual de la Red Inteligente en México

México como otros países de mundo, ha iniciado con la introducción del concepto de redes eléctricas inteligentes. Derivado de la Reforma Energética, en el nuevo marco legal de México, se realizaron importantes cambios en los temas relacionados con la planeación y operación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), en la reforma se considera la incorporación de tecnologías de redes eléctricas inteligentes como un elemento importante que ayudará a conseguir los objetivos planteados sobre la materia. El desarrollo de redes inteligentes en el país incorpora tecnología digital en cada parte de la cadena del sistema de energía (generación, transmisión, distribución y consumo) y facilita la incorporación de las energías renovables a la matriz energética mexicana, la cual es capaz de mejorar la condición de desequilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) está llevando a cabo un proyecto para mejorar el intercambio de datos asociados con el consumo de energía, el control y seguimiento de las redes de distribución con el fin de supervisar y controlar los parámetros eléctricos de la red mediante el uso de la tecnología inalámbrica. Asimismo, en México se han realizado algunas actividades de investigación en torno al tema de las redes inteligentes, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (IEE) ha estado trabajando en los últimos años en un programa para ayudar al desarrollo del tema a nivel nacional (Gers, 2017). En mayo de 2016 se emitió el Programa de Redes Eléctricas Inteligentes y en 2017 se complementa con un documento donde se puntualizan los proyectos que será desarrollados por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), los transportistas y los distribuidores a corto, mediano y largo plazo.

En junio de 2019 la Secretaría de Energía (SENER) emitió el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019-2033 (Energía, Secretaría de Energía, 2019), cuyo Capítulo IX.5 contempla la transición hacia una Red Eléctrica Inteligente. De acuerdo con la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) el despliegue de las REI debe contribuir a mejorar la eficiencia, confiabilidad, calidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional con la incorporación de tecnologías avanzadas de medición, monitoreo, comunicación y operación entre otras, que facilite el acceso abierto sin discriminar a ningún sector a la Red Nacional de Transmisión (RNT) y las Redes Generales de Distribución (RGD) y permitir la integración de las fuentes de energías limpias y renovables.

De conformidad con el Artículo 37 de la Ley de Transición Eléctrica (LTE), la implementación de las REI tiene como objetivo apoyar la modernización de la RNT y de las RGD, para mantener una infraestructura confiable y segura que satisfaga la demanda eléctrica de manera económicamente eficiente y sustentable y que facilite la incorporación de nuevas tecnologías que promuevan la reducción de costos del sector eléctrico. El proyecto de REI contempla la integración de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en los elementos de medición, monitoreo y operación del Sistema Eléctrico Nacional, a través de los sistemas y módulos que los integran. Con respecto a esto último, en (Energía, Documentos, 2017) se considera que la infraestructura de telecomunicaciones de una empresa eléctrica es crítica para el funcionamiento óptimo de la red. Esta infraestructura se vuelve aún más crítica a medida que más dispositivos se comunican a través de ella y más aplicaciones requieren de datos en tiempo real. En el pasado, la infraestructura de telecomunicaciones a menudo fue instalada para realizar una tarea, por lo que pudiera no ser útil para los requerimientos del sector eléctrico. Muchas empresas eléctricas en el mundo están cambiando hacia un enfoque fragmentado y están desarrollando estrategias generales de telecomunicaciones que afectan a toda la empresa. A continuación, se enlistan algunas de estas estrategias:

- Promover la selección óptima de las tecnologías para satisfacer las necesidades de la empresa.
- Asegurar que la infraestructura de telecomunicaciones esté disponible cuando las aplicaciones la requieran.
- Optimizar el uso y la eficiencia de la infraestructura.
- Reducir el costo del ciclo de vida de la infraestructura.

8.3 Proyecto “Estrategia empresarial de telecomunicaciones”

En la actualidad, la infraestructura de telecomunicaciones es considerada como la “segunda red”, la cual es tan crítica en la operación de los sistemas eléctricos como los elementos primarios. Por lo tanto, la infraestructura de telecomunicaciones debe ser planteada, diseñada, implementada y administrada con el mismo cuidado que la infraestructura eléctrica.

Las nuevas responsabilidades adquiridas por parte del CENACE, CFE Transmisión y CFE Distribución, en el marco del Mercado Eléctrico Mayorista, requieren de una estrategia empresarial de telecomunicaciones que permita compartir información de manera confiable, puntual, segura y sin interrupciones relacionada con la operación del Sistema Eléctrico Nacional.

En (Energía, Documentos, 2017) se incluye el proyecto “Estrategia empresarial de telecomunicaciones” el cual tiene por objetivo “Determinar los usos futuros y requerimientos de telecomunicaciones para el CENACE, CFE Transmisión y CFE distribución y evaluar si las tecnologías existentes o emergentes cumplen con estos requerimientos. Los suministradores de servicios básico y calificado deberán adoptar los requerimientos tecnológicos que se alineen a la visión unificada y que sus sistemas sean capaces de comunicarse con facilidad a los dispositivos de la CENACE, CFE Transmisión o CFE Distribución”. El proyecto consiste en ocho fases que son necesarias para lograr la implementación de la estrategia de telecomunicaciones en los tres entes involucrados. Las fases 1 a 8 representan la fase de estudio del proyecto. La fase 9 es una demostración y la fase 10 es la implementación en toda la organización, en la Tabla 8.1 se describe cada una de las fases. Este proyecto definido para un período de cuatro años, permitirá identificar la infraestructura de telecomunicaciones que se implementará en el futuro en la REI en México.

Tabla 8.1 Fases del proyecto “Estrategia empresarial de telecomunicaciones”

Fase	Descripción
1. Documentar la Infraestructura existente de telecomunicaciones.	Establecer cuáles son las tecnologías con las que cuenta cada empresa, qué tan bien funcionan y dónde se encuentran en su ciclo de vida.
2. Determinar las nuevas aplicaciones que serán requeridas.	Desarrollar casos prácticos para establecer cuáles de las aplicaciones existentes y futuras de telecomunicaciones podrían ser aplicadas en los proyectos de REI.
3. Analizar los requerimientos de telecomunicaciones para las aplicaciones.	Definir los requerimientos tecnológicos para cada una de las aplicaciones de REI a desarrollar en el futuro y que además se adapten a la infraestructura de la empresa.
4. Considerar los aspectos geográficos de las aplicaciones y sus requerimientos.	Evaluar qué tecnologías serán utilizadas en zonas urbanas, suburbanas o rurales y cuál es la densidad de dispositivos de comunicación en cada una de ellas.
5. Analizar los objetivos a largo plazo y las oportunidades relacionadas con las telecomunicaciones.	Establecer un mapa de ruta de la tecnología a 10 años para vislumbrar cómo evolucionará cada una de las aplicaciones.
6. Desarrollar el portafolio de las tecnologías viables en telecomunicaciones.	Seleccionar las tecnologías que se adaptan a los requerimientos de cada empresa y que, a la vez, permitan el intercambio de información relevante entre las empresas del sector eléctrico sobre la operación confiable del SEN.
7. Visualizar los requerimientos particulares de las aplicaciones entre las empresas del sector.	Definir los requerimientos particulares de las aplicaciones y la distribución geográfica de las tecnologías viables.
8. Crear el mapa de ruta empresarial para la implementación de las tecnologías y realizar un análisis beneficio/costo.	Una vez seleccionadas las tecnologías se deberán valorar económicamente los beneficios de cada una de las tecnologías que cumplen con los requerimientos de infraestructura.
9. Llevar a cabo demostraciones de las nuevas tecnologías.	Se desarrollarán demostraciones para aquellas nuevas tecnologías o que no han sido implementadas en las empresas del sector eléctrico.
10. Implementar las tecnologías, a nivel sistema, que presenten los mejores resultados.	En caso de éxito en las demostraciones o de utilizar tecnologías ya probadas, se procederá a seleccionar las más adecuadas para implementarlas en todo el SEN.

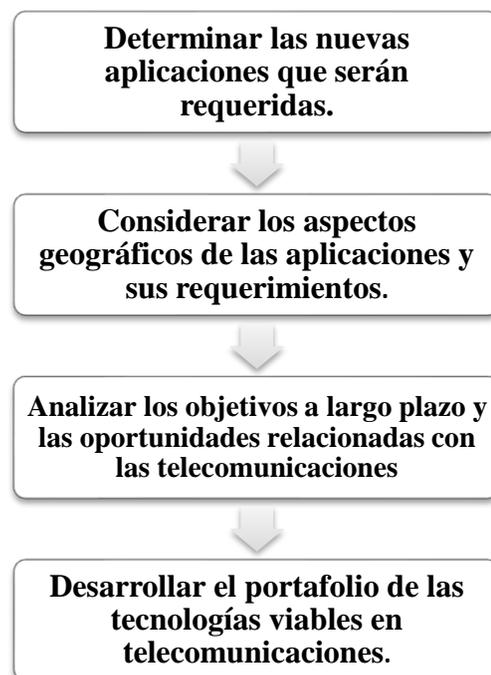
Fuente de Consulta: Elaboración propia con información de (Energía, Documentos, 2017)

8.4 Usos y requerimientos de las telecomunicaciones

8.5 Metodología

Se realizó una revisión documental y analítica por medio de la recolección de información y la revisión sistemática de la literatura para determinar los usos futuros y requerimientos de telecomunicaciones considerando algunas de las fases iniciales del Proyecto “Estrategia empresarial de telecomunicaciones” descrito en la Tabla 2.1. Las fases consideradas (Energía, Documentos, 2017) son: en la sección 3.2 se desarrolla la fase de 2, en 3.3 se da respuesta a la fase 3 y en 3.4 corresponde a la fase 4. La fase 6 se desarrolla en la sección de resultados, estas pueden observarse en la Figura 8.1. El resto de las fases no se aborda en este capítulo, ya que se requiere información particular de las empresas participantes y resultados de las implementaciones. Dentro de las tecnologías se consideraron las que actualmente forma parte de la infraestructura de la red eléctrica: OPLAT, microondas, fibra óptica, satélites y redes celulares. Esta sección también incluye tecnologías emergentes que pueden cumplir con la visión de la nueva red. Finalmente, se abordan los obstáculos a los que se enfrenta el nivel de comunicación.

Figura 8.1 Fases del Proyecto “Estrategia empresarial de telecomunicaciones” abordadas en este capítulo



Fuente de Consulta: Elaboración propia

8.6 Determinar las nuevas aplicaciones requeridas.

La operación completa de la REI se puede clasificar en múltiples aplicaciones. De acuerdo con el departamento de energía de los Estados Unidos, existen seis categorías en las que se encuentran, si no todas, sí la mayoría de las aplicaciones que a continuación se describen (Khan, Zeeshan, & Shahzad, 2018):

- 1) AMI (*Advanced Metering Infrastructure*): para recolectar, analizar y medir el consumo de energía con fines de facturación, gestión de la carga e información sobre interrupciones a través de comunicación bidireccional entre el consumidor y utilidad.
- 2) DRM (*Demand Response Management*): para reducir el consumo de energía a los usuarios cuando la red esta sobrecargada o en el período en el que el costo de la electricidad es más elevado.
- 3) WASA (*Wide-Area Situational Awareness*): para obtener en tiempo real el estado de operación de la red, utilizando tecnologías avanzadas para el monitoreo.

- 4) DER (*Distributed Energy Resources*): para el almacenamiento de energía a gran escala, suministros ininterrumpidos de energía y baterías de vehículos híbridos.
- 5) ET (*Electric Transportation*): dispositivos de almacenamiento de energía que inician funcionamiento cuando se detecta una baja de energía con el fin de equilibrar la demanda en la red.
- 6) DGM (*Distribution Grid Management*): para proporcionar una detección efectiva de fallas, con la capacidad de aislarlas y así restaurar la energía permitiendo a los proveedores de servicios el monitoreo y control de recursos de la red.

En la Tabla 8.2, se muestra la descripción cuantitativa de los requisitos en la calidad de servicio en términos de rendimiento, latencia, confiabilidad para cada aplicación y sub-aplicación de la REI.

Tabla 8.2 Requisitos de calidad en el servicio de las aplicaciones de REI.

Aplicación	Throughput (D)	Latencia (L)	Fiabilidad (R)	Tamaño de frame (Bytes)
AMI	10-100 kbps/nodo	2-15 seg	99-99.99	1500-2400
DRM	120 bps-100 kbps	500 ms	99-99.99	1500
WASA	600-1500 kbps	20-200 ms	99-99.99	1500
DER	9.6-56 kbps	20 ms-15 seg	99-99.99	500
ET	9.6-56 kbps	2 seg-5 min	99-99.99	1500
DGM	9.6-100 kbps	< 1 s (<i>alarmas</i>) < 100 ms (<i>msg</i>)	99-99.999	100-400

Fuente de Consulta: Recuperado de (Khan, Zeeshan, & Shahzad, 2018)

8.7 Analizar los requerimientos de telecomunicaciones para las aplicaciones

En una REI un elemento clave es la infraestructura de telecomunicaciones. En la visión que se tiene de la REI, una gran cantidad de datos provenientes de las diferentes aplicaciones de la red estarán generándose para análisis, control y facturación debido a esto es crítico que las empresas eléctricas definan los requisitos de comunicación y encuentren la mejor infraestructura para manejar datos y brindar servicio confiable, segura y rentable. La infraestructura de telecomunicaciones actual ya sea cableada o inalámbrica pueden utilizarse en esta nueva visión de red. En algunos casos la tecnología inalámbrica tiene ventajas sobre la cableada, por ejemplo, bajo costo en la infraestructura y facilidad de conexión para zonas difíciles. Sin embargo, puede presentar dificultades en la transmisión debido a atenuaciones o pérdida de señal. Por otro lado, los medios cableados no tienen problemas con interferencia y sus funciones no dependen de fuentes de energía como sucede con las tecnologías inalámbricas.

Básicamente, se necesitan dos tipos de infraestructura de información para el flujo de información en un sistema de red inteligente. El primer flujo es de los sensores y electrodomésticos a los medidores inteligentes, y el segundo flujo es entre los medidores inteligentes y los centros de datos de la empresa de servicios públicos. Se sugiere que el primer flujo de datos se puede dar a través de comunicación por línea eléctrica o comunicaciones inalámbricas como ZIGbee, 6 Low PAN, Z-wave y otros. Para el segundo flujo se puede utilizar tecnologías celulares o internet por cable. Sin embargo, hay factores limitantes clave que deben tomarse en cuenta en el proceso de implementación tales como tiempo de implementación, la disponibilidad de tecnología y entorno rural/urbano, interior/exterior, etc.

Se pueden utilizar muchas tecnologías de red para las comunicaciones ya sea en la transmisión, distribución y los clientes. Sin embargo, todavía no se adaptan completamente a las necesidades de las nuevas aplicaciones y necesitan ajustarse o probablemente elegir un subconjunto de tecnologías que puedan aplicarse a ciertas aplicaciones de la red que tengan requisitos similares.

Antes de elegir una tecnología de comunicación para una aplicación en particular, se requiere un análisis exhaustivo para que coincida con los requisitos de la aplicación.

Las tecnologías disponibles pueden clasificarse en las siguientes categorías (Wang, Xu, & Khanna, 2011):

- **Línea eléctrica.** Las líneas eléctricas se utilizan principalmente para transmisiones de energía eléctrica, pero también pueden utilizarse para transmisiones de datos. Los sistemas de comunicación a través de la línea de potencia operan enviando señales portadoras moduladas por los cables de transmisión. Por lo general las señales de datos no pueden propagarse a través de transformadores, por lo tanto, la comunicación por línea está limitada dentro de cada segmento de línea entre transformadores. Las velocidades de los datos en la línea eléctrica varían desde cientos de bits por segundo hasta millones de bits por segundo, en una relación inversamente proporcional a la longitud de la línea eléctrica. Por lo tanto, este tipo de comunicación se utiliza principalmente para entornos internos con el fin de proporcionar infraestructura de red de banda ancha si necesidad de instalar cables dedicados. A esta categoría pertenece la tecnología de Onda Portadora de Alta Tensión (OPLAT) como se le conoce en México a PLC (*Power Line Communication*).
- **Red cableada.** La comunicación por cable puede ser utilizado para construir redes de comunicación de datos que se encuentren distantes de las líneas de energía eléctrica. Estas redes dedicadas requieren una inversión adicional para la implementación, pero ofrecen una mayor capacidad de comunicación y poco retraso. Dependiendo del medio de transmisión utilizado, estas redes incluyen fibra óptica, DLS (*Digital Subscriber Line*) y la red de acceso por cable coaxial. Las redes de fibra óptica transmiten paquetes de datos de alta velocidad con tasas de datos entre 155 Mbps y 160 Gbps. La más popular de ellas es Ethernet sobre todo en los hogares y lugares de trabajo, proporciona una velocidad de datos entre 10 Mbps y 10 Gbps. El DSL y el cable coaxial se pueden usar para acceder a Internet con velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps.
- **Red inalámbrica.** Permite conectar varios dispositivos remotos sin la necesidad de cables, en general las señales inalámbricas sufren de atenuación e interferencia durante la transmisión. Como resultado, estas redes pueden proporcionar conexiones de corta distancia con bajas velocidades de datos. Las redes 802.11 son las redes de área local más utilizadas con velocidades de hasta 150 Mbps y distancia de hasta 250 m. En una red personal, de aproximadamente 10 m de distancia, las redes 802.15 proporcionan conexiones inalámbricas velocidades entre 20 kbps a 55 Mbps. Para el acceso inalámbrico a internet de banda ancha, las redes 802.16 permiten transmisiones de hasta 100 Mbps en un rango de 50 km.

En la Tabla 8.3 se concentran las características de las tecnologías de comunicación vigentes que son candidatas a emplearse en la nueva red eléctrica. Se incluye también las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Tabla 8.3 Características de las tecnologías de comunicación vigentes.

Tecnología	Estándar/Protocolo	Tasa de datos	Cobertura	Ventajas	Desventajas
PLC	NB-PLC ISO/IEC 14908-3, ISO/IEC 14543-3-5. CEA-600.31 IEC 61334-3-1, IEC 61334-5	10-500 kbps	~150 km o más	-La infraestructura ya existe. -Separación física de otras redes de telecomunicaciones. -Bajos costos de operación.	-Distorsión y atenuación de la señal. -Interferencia. -Difícil de lograr tasas de datos altas. -Enrutamiento complejo.
	BB-PLC TIA-1113 IEEE 1901, ITU-T G.hn	14-200 Mbps	~1.5 km		-Los estándares evolucionan despacio.

Fibra óptica	AON IEEE 802.3ah BPON ITU-T G.983 EPON IEEE 1901 IEEE 802.3ah GPON ITU-T G.984 WDM SONET/SDH	100 Mbps 155-622 Mbps 1 Gbps 155-2448 Gbps 40 Gbps 10 Gbps	>10 km >20-60 km >10- 20 km >20-60 km >100 km >100km	-Velocidades de datos altas en distancias más largas. -Inmune a la interferencia electromagnéticas. -Baja latencia y retraso.	-Costos altos en la implementación de la red. -Equipo costoso. -No es recomendado para aplicaciones de medición. -Es difícil su actualización.
DSL	ADSL ITU G.992.1 ADSL2 ITU G.992.3 ADSL2+ ITU G.992.5 HDSL ITU G.991.1 VDSL ITU G.993.1 VDSL2 ITU G.993.1	1-8 Mbps 2 Mbps 15-100 Mbps	~ 4 km ~7 km ~7 km >3.6 km >1.2 km 300 m – 1 km	-Infraestructura de comunicación de larga distancia ya implementada. -Tecnología común para clientes residenciales de banda ancha.	-Es alto el costo de arrendamiento a los operadores de la red. -La tasa de datos se degrada a largas distancias.
Cable coaxial	DOCSIS	85 Mbps	~12 km	-Permite transmisión de voz, datos y video de manera simultánea. -No necesita repetidores.	-Puede operar únicamente y distancias muy cortas.
Microondas	IEEE 802.11	11 Mbps	>60 km	-Tasa datos alta.	-Sombreo. -Atenuación por las condiciones atmosféricas. -Interferencia multitrayectoria. -La latencia aumenta debido a la encriptación por seguridad.
WPAN*	ZigBee IEEE 802.15	256 kbps	10 – 75 m	-Bajo consumo de energía. -Equipo barato. -Apropiado para dispositivos de gama baja. -Compatible con IPV-6.	-Baja tasa de datos. -No es escalable.
WiFi*	IEEE 802.11e IEEE 802.11n IEEE 802.11s IEEE 802.11p	~54 Mbps ~600 Mbps ~26.7 Mbps ~ 40 Mbps	~ 300 m ~ 1 km	-Bajo costo en la implementación ya que no se necesita licencia para el uso del espectro. -Equipo de bajo costo. -Flexible y adecuado para diferentes usos.	-Presenta interferencia multiusuario. -El consumo de energía puede ser alto para los dispositivos de la REI. -Soporte simple de QoS.
WiMax*	IEEE 802.16 IEEE 802.16j IEEE 802.16m	75 Mbps	0 – 10 km 0 – 30 km	-Soporto miles de usuarios simultáneos. -Mayor cobertura que WiFi. -Control orientado a la conexión del ancho de banda del canal. -Mecanismos de QoS sofisticados.	-Manejo complejo de N/W. -Los costos de nodos terminales son altos. -Se necesita licencia para el uso del espectro.

Redes celulares*	2G GSM 2.5G GPRS 3G HSPA HSPA+ 3.5G HSDPA 4G LTE LTE Advanced	14.4 kbps 144 kbps 2 Mbps 12 Mbps 100 Mbps 1 Gbps	0-10 km 0-10 km 0-10 km 0-30 km	-Puede soportar decenas de millones de dispositivos. -Los nodos finales consumen menos potencia. -Los operadores celulares están adecuando soluciones para REI.	-Tiene que existir contrato de arrendamiento entre los operadores de la red celular y la REI. -Difícil garantizar el retraso que se espera.
Satélites*	LEO Iridium, Globalstar MEO New ICO GEO Inmarsat, BGAN, Swift, MPDS	1 Mbps	100- 6000 km dependiendo del número de satélites.	-Distancias largas, -Altamente confiable. -Se reduce la interferencia debido al espectro pagado.	-Terminales finales costosas. -Períodos de latencia mayores.

Fuente de Consulta: Elaboración propia con datos de (Alam, Sohail, Ghauri, Qureshi, & Aqdas, 2017), (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014), (Khan, Rehmani, & Reisslein, 2016), (Pérez-Guzmán, Salgueiro-Sicilia, & Rivera, 2017)

***Tecnologías inalámbricas.**

8.8 Tecnologías emergentes

En la literatura se registran propuestas para el empleo de las tecnologías de comunicaciones vigentes para consolidar la red eléctrica inteligente como las presentadas en la Tabla 3.2. En lo que respecta a las comunicaciones inalámbricas, el avance que han tenido en los últimos años, las convierte en candidatas para muchas de las aplicaciones de la REI. Una desventaja es que estas redes están reguladas por una política fija para asignar el espectro. La Radio Cognoscitiva (CR: *Cognitive Radio*) es una tecnología prometedora para el entorno REI, ya que puede aumentar la eficiencia espectral, la capacidad de transmisión y debido a la escasez del espectro al aumento de las comunicaciones radio en bandas con y sin licencia hace que la implementación de CR sea casi inevitable (Alam, Sohail, Ghauri, Qureshi, & Aqdas, 2017). Una propuesta para que CR en REI sea una realidad es el utilizar IEEE 802.22 el cual es el primer estándar dirigido al uso del espectro de televisión analógica no utilizado con el objetivo de proporcionar acceso de banda ancha a zonas alejadas. Este estándar tiene varios modos de operación lo que lo hace un candidato para ser utilizado y tener comunicaciones confiables en la REI de naturaleza heterogénea. Este estándar puede transferir una gran cantidad de datos, se puede dar la comunicación bidireccional. En la Tabla 8.4 se resumen sus características.

Tabla 8.4 Características de WRAN

Tecnología	Estándar/Protocolo	Tasa de datos	Cobertura	Ventajas	Desventajas
CR WRAN	IEEE 802.22	18 Mbps	10 – 100 km	-Inmune a la interferencia. -Extensa cobertura de datos. -Niveles de potencia adaptiva.	-Susceptible a interrupción debido a la presencia del usuario con licencia.

Fuente de Consulta: Elaboración propia con información de (Khan, Rehmani, & Reisslein, 2016)

Los sistemas inalámbricos de quinta generación (5G) se están desarrollando actualmente. Estos sistemas están previstos para dar servicio a una alta densidad de dispositivos. Se prevé que los sistemas 5G interactúen con LTE, WiFi y Bluetooth para proporcionar una cobertura universal de alta velocidad y experiencias de usuario fluidas. Sin embargo, para su uso en REI se deben resolver varios desafíos como la estandarización y la interoperabilidad.

8.9 Considerar los aspectos geográficos de las aplicaciones y sus requerimientos.

Los avances en los sistemas de comunicación ofrecen a la nueva red eléctrica la posibilidad de controlar y monitorear a través de ella, con operaciones flexibles y efectivas a un menor costo. Las redes inteligentes son una oportunidad para utilizar las tecnologías de la comunicación y la información para adaptar los sistemas actuales de energía eléctrica a las necesidades de la nueva red (Díaz & Hernández, 2011). La red inteligente es una plataforma interactiva estructurada en capas o niveles. En la Figura 8.2 se observa cómo se puede implementar una REI. Estas capas o niveles son:

- La capa del sistema de energía, que consiste en la generación, transmisión, distribución y los clientes.
- La capa de control, que permite funciones de supervisión, control y gestión de las redes inteligentes.
- La capa de comunicación, que permite comunicaciones bidireccionales en un entorno inteligente.
- La capa de seguridad, que proporciona confidencialidad, integridad, autenticación y disponibilidad de la información.
- La capa de aplicación, que ofrece varias aplicaciones de la REI a clientes y empresas de servicios

Figura 8.2 Capas o niveles del modelo conceptual de la REI.

Medición inteligente y aplicaciones de la red			Aplicaciones del cliente				Capa de aplicación	
Autenticación, control de acceso, protección de integridad, encriptación, privacidad							Capa de seguridad	
Celular, WiMax, Fibra óptica			PLC, DSL, Cable coaxial, RF			ZigBee, WiFi		Capa de comunicación
WAN			NAN			HAN		
PMUs	Capacitores	Re-conectores	Interruptores	Sensores	Transformadores	Medidores	Almacenamiento	Capa de control de energía
Transmisión, generación			Distribución			Clientes		Capa del sistema de energía

Fuente de Consulta: Recuperado de (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014)

El nivel de comunicación es uno de los elementos críticos para habilitar las aplicaciones de la red inteligente. En el contexto de la REI, la red de comunicación se puede representar como una arquitectura jerárquica multicapas. De acuerdo a la velocidad de datos que maneja, rango de cobertura, esta se puede clasificar en (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014):

- Red para usuarios de área local, por ejemplo, Home Area Network (HAN), Building Area Network (BAN), Industrial Area Network (INS).
- Neighborhood Area Network (NAN) o Field Area Network (FAN).
- Wide Area Network (WAN).

Estas capas de la red, tiene muchas aplicaciones y diversos requisitos de calidad en el servicio, y por lo tanto se considera una red de características heterogéneas. La infraestructura de comunicación para la REI debe de cumplir con tres funciones: sensado, transmisión y control. El sistema de sensado embebido está a cargo de un gran número de medidores o sensores inteligentes que detectan en varios puntos el estado de la red en tiempo real. Se necesitan enlaces de transmisión de dos vías para establecer la comunicación de datos entre los sensores y los centros de control. Para lograr esos propósitos, la infraestructura de red de comunicación de la REI tiene que integrar nuevas tecnologías que permitan alcanzar las nuevas funciones. El despliegue de la REI será geográficamente amplio conectando un gran conjunto de nodos.

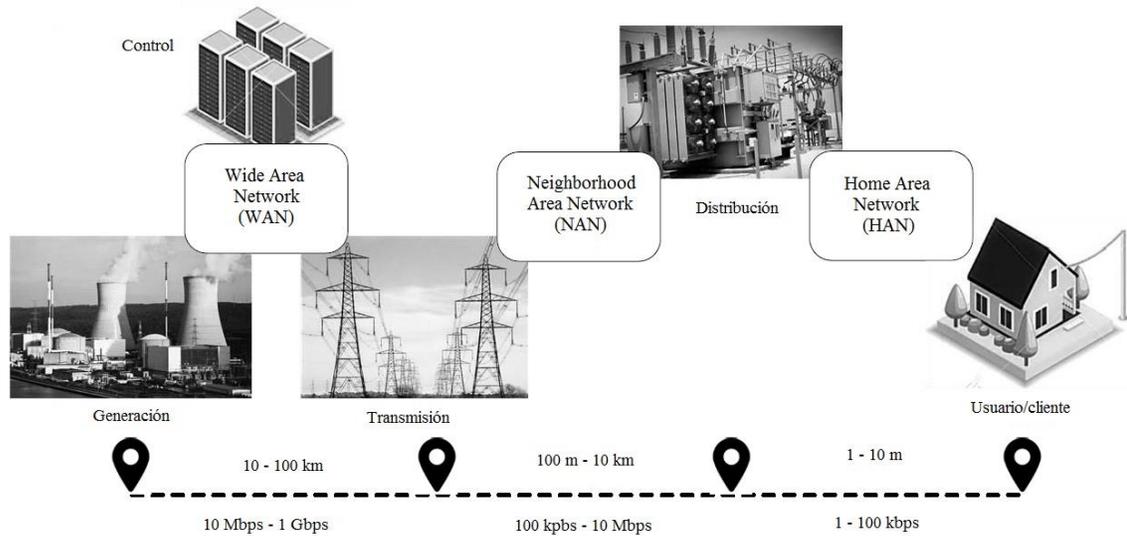
Por ende, la infraestructura de comunicación debe considerar que será una estructura multicapas que se extiende a través de toda la REI. En resumen, una HAN comunica varios dispositivos inteligentes para administrarlos de manera eficiente y respondiendo a las demandas de energía. Una NAN conecta a múltiples HAN a un punto de acceso local y finalmente la WAN provee enlaces de comunicación entre NANs y tiene los sistemas de utilidad para transferir información (Gao, Wang, Wang, & Song, 2012).

8.10 Descripción de los niveles de red de comunicaciones.

- Redes locales. Las redes HAN/BAN/IAN permiten la comunicación entre electrodomésticos, vehículos eléctricos y cualquier otro equipo eléctrico de los usuarios de la red. La HAN permite la comunicación entre electrodomésticos y equipos eléctricos que son capaces de enviar y recibir señales a medidores inteligentes, pantallas (IHDs: *in-home displays*) o sistemas para administrar energía (HEM: *Home Energy Management*). Estas aplicaciones incluyen hogares automatizados, control inteligente de temperatura ambiental, temperatura de los calentadores de agua, control y administración del consumo energía. Las redes BAN e IAN tiene propósitos comerciales e industriales relacionados con la automatización, ventilación, calefacción y aire acondicionado, y otras aplicaciones industriales de administración de la energía. También actúan como gateways entre HANs y NANs. Estas redes HAN/BAN/IAN necesitan enlaces de comunicación seguros, tasas de datos de 10 a 100kb/s y un área de cobertura de 100 a 200 m².
- Neighborhood Area Network (NAN). Este nivel de red permite la comunicación entre HAN y WAN (*Wide Area Network*), cubre el dominio de distribución y transmisión de la red eléctrica. Permite recolectar la información de los usuarios de la red para transmitirla a las compañías que proveen el servicio. A esta red también se la llama Field Area Network (FAN) ya que conecta también equipos de campo tal como equipos electrónicos inteligentes. Permite aplicaciones como mediciones inteligentes, gestión de cortes, supervisión de la calidad de la energía, automatización de la distribución, entre otras. También incluye una red de medición que es parte de la una de las aplicaciones de las REI llamada AMI (*Advanced Metering Infrastructure*), permitiendo lecturas remotas de los medidores, control y detección de uso no autorizado. Permite que la información de uso de electricidad se transmita desde medidores de energía a una empresa de servicios públicos o un sistema de terceros permitiendo que los dispositivos de campo se controlen de forma remota, por ejemplo, en aplicaciones de automatización de distribución. NAN/FAN está conectado a WAN a través de una red, donde los datos de muchos NAN / FAN se agregan y transportan entre NAN / FAN y WAN. Dependiendo de la topología de la red eléctrica (centralizada / distribuida) y la tecnología de comunicación utilizada, un clúster NAN puede tener desde unos cientos hasta unos miles de SM (*Smart Meters*) que cubren varios kilómetros cuadrados y cada SM puede necesitar de 100 Kb / s a 10 Mb /s. Una NAN es una sección crítica en una REI ya que transporta un gran volumen de datos diversos e información de control entre proveedores de servicios en WAN y los dispositivos inteligentes en HAN.
- WAN. Este nivel es medular en la comunicación de una REI, ya que recopila información de múltiples NAN y la reenvía a un centro de control. Cubre los dominios de transmisión y generación de energía que permiten las comunicaciones de larga distancia entre diferentes puntos (DAP: *Data Aggregation Points*) de plantas de generación de energía, centros de control, subestaciones, redes de transmisión y distribución, estaciones de energía de recursos distribuidos, etc. Por lo tanto, maneja un volumen alto de datos de hasta miles de terabytes que se comunica a través de WAN al enlace con el centro de control, con una velocidad requerida de 10 a 100 MB/s, cubriendo cientos de kilómetros.

De acuerdo con la descripción de los niveles de red, la REI abarca una amplia área geográfica, por lo tanto, la infraestructura de comunicación debe tener suficiente cobertura para lograr la comunicación entre todos los elementos que la integran. Es por esta razón que se propone la estructura en tres capas. En la Figura 8.3 se puede observar la arquitectura de red recomendada de acuerdo al entorno, así como la velocidad de los datos requerida.

Figura 8.3 Descripción de la arquitectura de comunicación en la REI.



Fuente de Consulta: Recuperado de (Khan, Zeeshan, & Shahzad, 2018)

8.11 Retos del nivel de comunicaciones en una REI

Existen muchos retos asociados con la mejora de la infraestructura de comunicación actual para permitir los objetivos y aplicaciones de una REI. En resumen, los desafíos clave son los siguientes (Alam, Sohail, Ghauri, Qureshi, & Aqdas, 2017) (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014).

1. La red tiene diferentes requisitos a las redes de comunicaciones existentes, ya que estas se diseñaron bajo otras necesidades distintas a las actuales tales como velocidad de los datos, latencia, cantidad de usuarios, soporte de nuevas aplicaciones. Es también una tarea desafiante seleccionar las tecnologías y topologías existentes para ser utilizadas en la red REI.
2. Falta de estándares para la interoperabilidad, mismos que son necesarios para el despliegue efectivo de las redes de comunicación en un entorno REI ya que esta red se visualiza en un entorno heterogéneo (Het-Net: *Heterogeneous Network*).
3. Otro reto se presenta en la infraestructura inalámbrica actual, ya que las redes inalámbricas convencionales están reguladas por políticas fijas para la asignación del espectro, en donde esta asignación fija resulta ser ineficiente para utilizar dicho espectro. En otras palabras, la REI se enfrenta a la escasez del espectro radioeléctrico.
4. La integración a la red eléctrica actual de otras fuentes de energía es también un reto al que se enfrenta esta propuesta de red.
5. La seguridad de la red también es un punto crítico, existen investigaciones relacionadas con la búsqueda de mecanismos de seguridad para asegurar confiabilidad e integridad a la información de los usuarios.

8.12 Resultados

Con base a la información consultada y dando seguimiento al proyecto “Estrategia empresarial de telecomunicaciones” en lo que respecta a la fase 7 donde se solicita definir los requerimientos particulares de las aplicaciones y la distribución geográfica de las tecnologías viables, se presenta la Tabla 8.5 que presenta cada una de las tecnología presentadas en la sección 3 con las aplicaciones a las que puede dar soporte, así como la arquitectura de red de acuerdo a la distribución geográfica donde pueda ser implementada.

Tabla 8.5 Tecnologías viables para habilitar la REI.

Tecnología	Aplicaciones	Arquitectura
PLC	Lectura de medición automática Distribución de bajo voltaje	HAN, NAN, AMI
Fibra óptica	Infraestructura física de la red	NAN, WAN
DSL	Red de ciudad inteligente Medición inteligente	HAN, NAN, WAN, AMI
Cable coaxial	Medición inteligente	NAN
Microondas	Alarmas entre DERs Alimentador de subestación de distribución.	HAN, NAN
WPAN	Iluminación inteligente Monitoreo de energía Automatización de hogares Lectura de medición automática	HAN, AMI
WiFi	Medición inteligente Automatización de hogares	NAN, HAN, AMI
WiMax	Lectura de medición automática inalámbrica Facturación en tiempo real Detección y restablecimiento de fallas	HAN, AMI
Redes celulares	SCADA (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>) Monitoreo y medición de DERs	HAN, NAN, AMI
Satélites	SCADA Servicios de respaldo en comunicaciones Servicios de transporte para AMI	AMI, WAN
CR WRAN	Medición inteligente SCADA Manejo de la respuesta de demanda Monitoreo de área ancha Control y protección	HAN, NAN, WAN, AMI

Fuente de Consulta: Elaboración propia

8.13 Conclusiones

México, como muchos otros países de Europa y América, se encuentra en el periodo de transición a la Red Eléctrica Inteligente (REI). De acuerdo con (Gers, 2017) todavía existen preguntas abiertas sobre el proceso de normalización, selección de aplicaciones de redes inteligentes y aspectos regulatorios.

En México, desde 2012 se iniciaron proyectos con miras a implementar la REI, proyectos tales como la incorporación de alternativas energéticas al actual Sistema Nacional Eléctrico (SEN), integración de medidores inteligentes, modernización de la red de distribución, entre otros. Con la REI se pretende mejorar la operación del SEN, incrementando la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad; promoviendo la generación de electricidad proveniente de fuentes de energía limpia; optimizando la dinámica de operación; apoyando en la gestión al Mercado Eléctrico Mayorista; incorporando Generación Distribuida; interactuando con los usuarios del sistema.

Es un hecho que, para esta visión, la infraestructura de comunicación es medular para el buen funcionamiento de la misma, de ahí la importancia de la selección de las tecnologías a emplearse, siendo necesario evaluarlas y analizarlas valorando el costo beneficio. De acuerdo con el análisis documental aquí presentado las tecnologías de comunicación existentes sí son capaces y suficientes para cubrir las necesidades de la REI en nuestro país, obviamente con las adecuaciones necesarias. Sin embargo, en lo que respecta a las tecnologías inalámbricas existen todavía algunos detalles de confiabilidad, seguridad y gestión del espectro que es necesario solucionar.

8.14 Referencias

- Alam, S., Sohail, F. M., Ghauri, S. A., Qureshi, I., & Aqdas, N. (2017). Cognitive radio based Smart Grid Communication Network. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 535-548.
- Ancillotti, E., Bruno, R., & Conti, M. (2013). The role of communication system in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges. *Computer Communications*, 1665-1697.
- CEDU. (28 de Noviembre de 2013). *Camara Empresaria de Desarrolladores Urbanos*. Obtenido de CEDU: http://www.cedu.com.ar/cedu_new/noticias/compromiso-ambiental/1467-redes-electricas-inteligentes-la-nueva-tendencia-que-permite-ahorrar-un-30-de-energia.html
- Díaz, C., & Hernández, J. (2011). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica. Estado del Arte. *S&T*, 9(18), 53-81.
- Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 2589-5625.
- Energía, S. d. (21 de Agosto de 2017). *Documentos*. Obtenido de Secretaría de energía: <https://www.gob.mx/sener/documentos/programa-de-redes-electricas-inteligentes-121753>
- Energía, S. d. (14 de 06 de 2019). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/sener/es/articulos/prodesen-2019-2033-221654>
- Gao, J., Wang, J., Wang, B., & Song, X. (2012). Cognitive Radio Based Communication Network Architecture for Smart Grid. *IEEE International Conference on Information Science and Technology*. Wuhan, Hubei, China.
- Gers, J. M. (2017). América Latina y el Caribe: Estado del Arte de las Redes Eléctricas Inteligentes. *ENERLAC*, 24-41.
- Ghassemi, A., Bavarian, S., & Lampe, L. (2010). Cognitive Radio for Smart Grid Communication. *First IEEE International Conference on Smart Grid Communications* (págs. 297-302). Gaithersburg, MD, USA: IEEE.
- Giral-Ramírez, W., Celedón-Flórez, H., Galvis-Restrepo, E., & Zona-Ortiz, A. (2017). Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema. *Tecnura*, 119-137.
- Gómez, V. A., Hernández, C., & Rivas, E. (2018). Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid). *Información Tecnológica*, 29(2), 89-102.
- Guido, L. (2020). Opciones y dilemas socio-técnicos en los desarrollos energéticos argentinos: el proyecto red inteligente en la Ciudad General San Martín, Mendoza. *Revista Huellas*, 11-30.
- Gungor, V., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S. B., Cecati, C., & Hancke, G. (2011). Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards. *Transaction on Industrial Informatics*, 529-539.
- Khan, A., Rehmani, M., & Reisslein, M. (2016). Cognitive Radio for Smart Grids: Survey of Architectures, Spectrum Sensing Mechanisms, and Networking Protocols. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 860-897.
- Khan, M., Zeeshan, M., & Shahzad, K. (2018). On Performance Analysis of IEEE 802.22 PHY for Cognitive Radio based Smart Grid Communications. *Smart Cities Conference (ISC2)*. Kansas City, MO, USA.
- Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 74-88.

León-Trigo, L., Reyes-Archundia, E., Gutiérrez-Gnecchi, J., & Méndez-Patiño, A. C.-C. (2019). Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 1-12.

Ma, R., Chen, H., Huang, Y., & Meng, W. (2013). Smart Grid Communications: Its Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 36-45.

Pérez-Guzmán, R., Salgueiro-Sicilia, Y., & Rivera, M. (2017). Communication systems and security issues in smart microgrids. *IEEE Southern Power Electronics Conference (SPEC)* (págs. 1-6). Puerto Varas: IEEE.

Wang, W., Xu, Y., & Khanna, M. (2011). A survey on the communications architectures in smart grid. *Computer Networks*, 3604-3629.

Capítulo 9 Importancia de la integración y transversalidad de técnicas administrativas a través de herramientas de ingeniería para mejorar el servicio al cliente en una microempresa como parte de trabajo colaborativo

Chapter 9 Importance of the integration and transversely of administrative techniques through engineering tools to improve customer service in a microenterprise as part of collaborative work

SALAZAR-VIOLANTE, María Abigail †*, CARMONA-HUERTA, Rosalía Maribel, MARTÍNEZ-LEE, Maribel y SARMIENTO-REYES, Celso Ramón

Tecnológico Nacional de México/ Poza Rica. Luis Donaldo Colosio Murrieta S/N, Col Arroyo del Maíz, Poza Rica, Ver./Jefatura de ingeniería en Gestión Empresarial

ID 1^{er} Autor: *María Abigail Salazar-Violante* /ORC ID: 0000-0002-6715-4595, CVU CONACYT ID 480669

ID 1^{er} Coautor: *Rosalía Maribel Carmona Huerta* / ORC ID 0000-0002-4911-0898 CVU CONACYT ID 385303

ID 2^{do} Coautor: *Maribel Martínez Lee* / ORC ID 0000-0002-3928-8967, CVU CONACYT ID 578164

ID 3^{er} Coautor: *Celso Ramon Sarmiento Reyes* / ORC ID 0000-0002-5400-8062, CVU CONACYT ID 35783

DOI: 10.35429/H.2020.5.157.178

A Salazar, R. Carmona, M. Martínez y C. Sarmiento

asalazar@itspozarica.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

El presente documento es un proyecto que integra técnicas y herramientas de diversas disciplinas y ciencias aplicadas a una empresa con el objetivo de mostrar la participación colaborativa y transversal entre ellas para mejorar el servicio que ofrece una microempresa. Buscando detectar áreas de mejora, estableciendo actividades propias de un plan estratégico, evaluarlas y medirlas al ser implementadas. Para la obtención de los resultados se utilizaron técnicas de disciplinas complementarias que incluyen: planeación estratégica, procesos de calidad, marketing electrónico, trámites legales, finanzas corporativas, entre otras. Para fines demostrativos se considera a una empresa dedicada a brindar servicios de belleza estética y cuidado corporal de mujeres y hombres, entre sus principales servicios se encuentran: masajes reductivos, mascarillas, exfoliantes, faciales, alaciado de cabello, maquillaje, peinados, manicure, pedicura entre otros. Utilizando la articulación de varias asignaturas y la práctica profesional de diversos docentes.

Integración y transversalidad de asignaturas, trabajo colaborativo, técnicas y herramientas administrativas

Abstract

This document is a project that integrates techniques and tools from various disciplines and sciences applied to a company with the aim of showing collaborative and transversal participation among them to improve the service offered by a micro-company. Seeking to detect areas for improvement, establishing activities of a strategic plan, evaluating and measuring them when implemented. To obtain the results, techniques from complementary disciplines were used that include: strategic planning, quality processes, electronic marketing, legal procedures, corporate finance, among others. For demonstration purposes, a company dedicated to providing aesthetic beauty and body care services for women and men is considered. Among its main services are: reductive massages, masks, scrubs, facials, hair straightening, makeup, hairstyles, manicures, pedicures. among others. Using the articulation of various subjects and the professional practice of various teachers.

Integration and transversality of subjects, collaborative work, administrative techniques and tools

9. Introducción

En la última década el modelo educativo se ha enfocado a la integración de varias disciplinas para la solución de un problema que impacte entre otros sectores al empresarial, la estrategia metodológica y evaluativa de investigación, direccionada al planteamiento y solución de problemas relacionados con la práctica profesional y calidad de vida, requiere de la articulación de asignaturas del nivel y disciplina o carrera (Un nuevo modelo: la Triple Hélix, 2013).

La aplicación de técnicas diversas trae como consecuencia la articulación de asignaturas a través de un engranaje planeado y coordinado con actuadores transversales permitan que cada rol de actuación coordinado por parte de los docentes hacia la solución de un problema del contexto real, contribuye a ejemplificar en los estudiantes la vinculación de los conocimientos de áreas disciplinares diversas convergiendo en un mismo objetivo, surgiendo de manera inherente el trabajo colaborativo, el cual se entiende como la integración de más de dos personas para realizar un trabajo o un proyecto.

Este esquema toma especial relevancia cuando debe transmitirse al alumnado quienes serán el contacto directo y detonador de acciones concretas de implementación en la empresa; dado que la integración de conocimientos de diversas asignaturas coadyuva a la mejora de una empresa en el servicio de sus clientes potenciales y en la necesidad de crear innovadoras formas de tener constante incremento de participación en su mercado. Aquí surge especial atención en el cómo determinar el factor que imprime personalidad y valor agregado por parte de la empresa hacia la sociedad; denotando que se debe crecer en transformar la propuesta en algo único, que los clientes deseen; a grado tal que el valor ofrecido sea una experiencia completamente extraordinaria. Todo lo anterior se logra con una metodología interrelacionada de participación tripartita y con técnicas administrativas adecuadas al contexto de la empresa.

De este modo, se tienen, 3 niveles de actuación interrelacionados, actuadores y ámbitos que combinan técnicas y herramientas interrelacionadas para lograr resultados medibles y transformadores de realidades empresariales que impactan en el nivel 4 donde se encuentra la sociedad.

La empresa como caso de estudio se dedica a la atención de un catálogo amplio de servicios para cuidado estético; sin embargo; requiere de la determinación de diagnóstico para detectar áreas de oportunidad que permitan aumentar las ventas y mejorar la calidad en la gestión de productos y servicios. El objetivo general de mejorar el servicio de esta empresa mediante la integración de técnicas de diversas asignaturas demostrará que la participación colaborativa entre ellas, así como brindar soluciones estratégicas aplicadas en procesos, a nivel mercadológico y financieras, permiten fortalecer el posicionamiento de la empresa en el mercado.

9.1 Antecedentes

La Ley General de Educación de México, establece que los nuevos servicios educativos impulsarán el desarrollo humano integral para contribuir a la formación del pensamiento crítico, a la transformación y al crecimiento solidario de la sociedad, enfatizando el trabajo en equipo y el aprendizaje colaborativo, asimismo debe propiciar un diálogo continuo entre las humanidades, las artes, la ciencia, la tecnología y la innovación como factores del bienestar y la transformación social; ante este panorama, el nuevo sistema educativo para el siglo XXI instó a la generación de propuestas didácticas, de evaluación, de formación docente y trabajo académico colegiado, con una nueva alternativa de organización y gestión administrativa, de vinculación e investigación, , para ello los programas de estudio de las diversas asignaturas en la educación por competencias proponen la utilización de herramientas y técnicas de otras asignaturas como es el caso de la asignaturas enfocadas a desarrollar capacidades investigativas, que se utilizan en las asignaturas de la ingeniería, económico-administrativas y de las ciencias naturales.

La participación educativa del trabajo colegiado en los docentes no es un tema nuevo, el interés radica en generalizar el trabajo colegiado para la solución de un problema real en el ámbito empresarial y que muestre a los alumnos la vinculación e integración de conocimientos de diversas asignaturas a la solución o propuestas de mejora en este sector.

Por otro lado, toda empresa sin importar su tamaño, giro, etc; requiere definir acciones para lograr el proceso estructural, ese conjunto de acciones se conoce como estrategia.

Conceptualmente la palabra estrategia es el proceso seleccionado mediante el cual se espera lograr alcanzar un estado futuro (Gallardo, 2012, p.25). Para la aplicación de las estrategias se requiere de realización de varias técnicas y herramientas en todas las áreas de una empresa es por ello que se requiere de la colaboración profesional de diversas áreas.

9.2 Descripción del método de integración y transversalidad educativa aplicada para trabajo colaborativo

Hablar del método implementado en Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica para la aplicación de proyectos integradores es comenzar por la adaptación del perfil profesional del alumnado correspondientemente a la realidad contextual de ámbito empresarial de la zona.

Al mismo tiempo y apoyando la teoría del Método tridimensional de transversalidad que expresa “una nueva visión de la transversalidad transdisciplinar que propone un currículo globalizado y totalmente integrado a través de un nexo común. ..., se estudian diversos modelos de transversalidad de distintos países hasta llegar a la elaboración original de un Modelo Tridimensional de Transversalidad (MTT) que incluye tres planos de la realidad: plano de los ejes transversales, plano de los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales y plano de las dimensiones temporal, espacial, personal y social.” (Quintero M. A., 2005)

Lo anterior trasladado al hecho inequívoco de la obligada interdisciplinariedad en el currículo basado en la investigación (Quintero G. C., 2007) y aplicado para el presente artículo en un caso de estudio con resultados destacables muestran como los desafíos docentes yacen en la coordinación de esfuerzos subyacentes en el ámbito universitario (Cárdenas-Rodríguez, Terrón-Caro, & Monreal-Gimeno, 2015) permite una adecuación hacia el entorno regional empresarial hacia la que se encuentra enfocada la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica

Tomando como base lo anterior; este capítulo describe de manera general en el siguiente esquema la integración y transversalidad de las técnicas y herramientas administrativas de ingeniería aplicadas al trabajo colaborativo docente en una microempresa (Véase Tabla 1.1 y Tabla 1.2) como parte de la interacción del modelo de la triple hélice, donde la interacción tripartita de universidades, sector empresarial y gobierno tienen una cronología de intervención sumamente determinante para lograr la implementación técnica de herramientas administrativas en pro del impacto social de un proyecto, como lo indica Henry Etzkowitz del Instituto de Ciencias Políticas en la publicación de ANUIES “Las relaciones bilaterales entre el gobierno y la universidad, la academia y la industria y el gobierno y la industria se han ampliado en relaciones trilaterales entre las esferas, especialmente a nivel regional. Estas relaciones triádicas entre academia-industria-gobierno están surgiendo a partir de diferentes puntos institucionales de partida en diversos lugares del mundo, pero con el propósito común de estimular el desarrollo económico basado en el conocimiento.” (Etzkowitz, 2009)

Tabla 9.1 Esquema de integración

Niveles	Triple Hélice	Actuadores/Actores	Ámbito
Nivel 1	Gobierno	Catedráticos	Disciplinar
Nivel 2	Universidad	Alumnado	Diseño
Nivel 3	Empresarial	Organización del Caso de Estudio	Aplicativo
Nivel 4	Sociedad		

Fuente: Elaboración propia

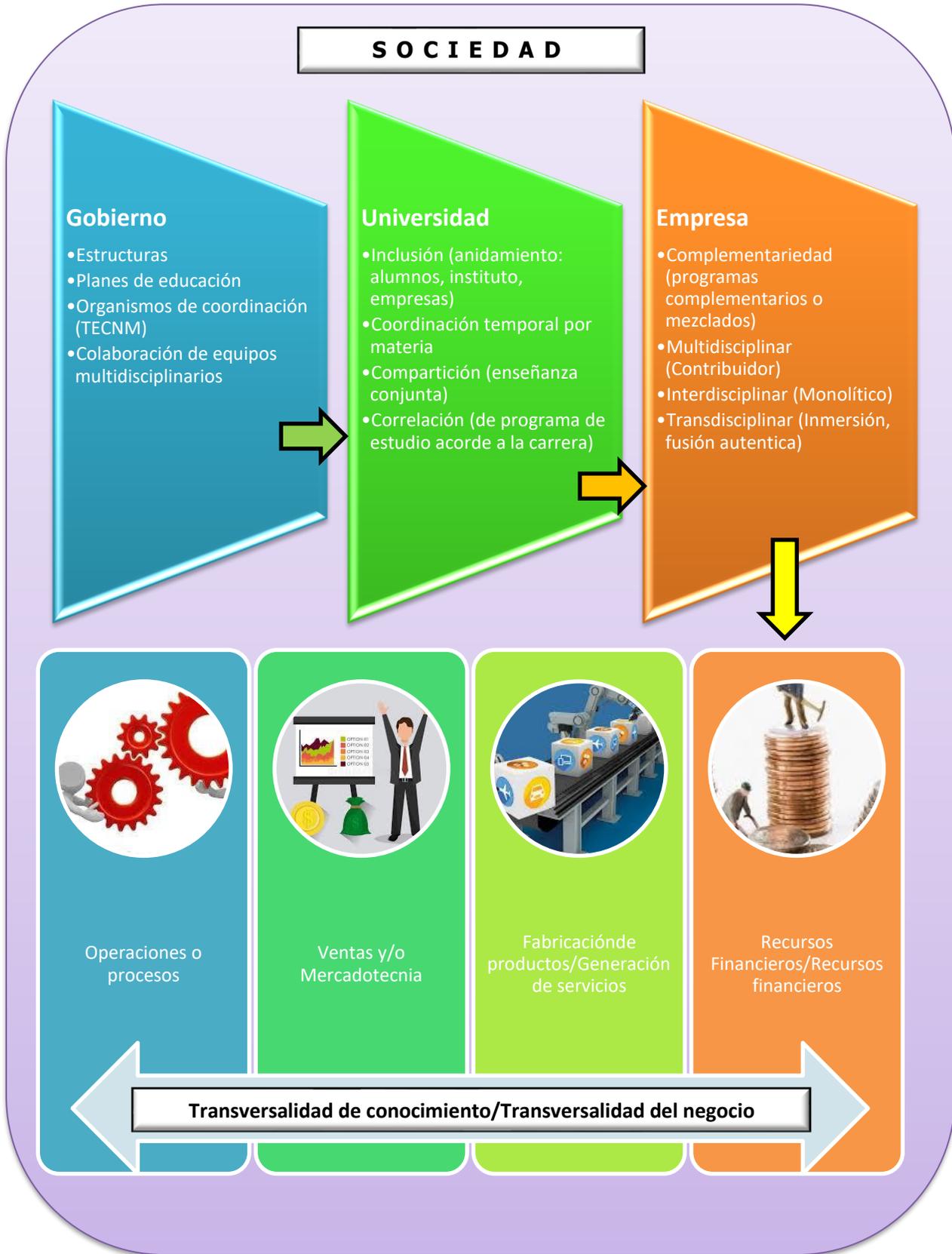
Por lo tanto, la funcionalidad que se logra a partir de la integración de materias de manera semestral e intersemestral generan un tejido valioso como conocimiento previo de aplicación interdisciplinaria; y en adición, dado el contexto aplicado brinda una conectividad de conocimiento teórico llevado al pragmatismo de la realidad a través del proyecto que integra a las materias.

En la escalera de Harden (Harden, 2000) en el ámbito médico propuso y menciona 11 peldaños o pasos que se analizan para la trascendencia de la integración curricular, entendiéndose que se deben tener en cuenta las metas y objetivos, los recursos, la infraestructura y los métodos de evaluación de la institución:

- | | |
|--|--|
| 1. Aislamiento | 8. Complementariedad (programas complementarios o mezclados) |
| 2. Conocimiento (concientización) | 9. Multidisciplinar (Contribuidor) |
| 3. Armonización (conexión, contacto) | 10. Interdisciplinar (Monolítico) |
| 4. Inclusión (anidamiento) | 11. Transdisciplinar (Inmersión, fusión auténtica) |
| 5. Coordinación temporal | |
| 6. Compartición (enseñanza conjunta) | |
| 7. Correlación (programa concomitante, programa democrático) | |

La intención de este tipo de proyectos integradores y tomando la propuesta hecha por Harden es aplicar con mayor impulso los pasos 4 al 11 de manera que sean aplicados en la transversalidad no solo del conocimiento sino de la aplicación del mismo abarcando la transversalidad de cualquier negocio tomando cuya meta principal sea la gestión empresarial dando como resultado la funcionalidad de un ejercicio profesional supervisado académicamente y contextualmente en el ámbito real de la organización subyacente del proyecto en cuestión. Brindando al alumnado el valor agregado de obtener la cercanía profesional antes de su egreso y de su etapa de residencia profesional incluso.

Figura 9.1 Esquema de la funcionalidad de la integración y la transversalidad colaborativa.



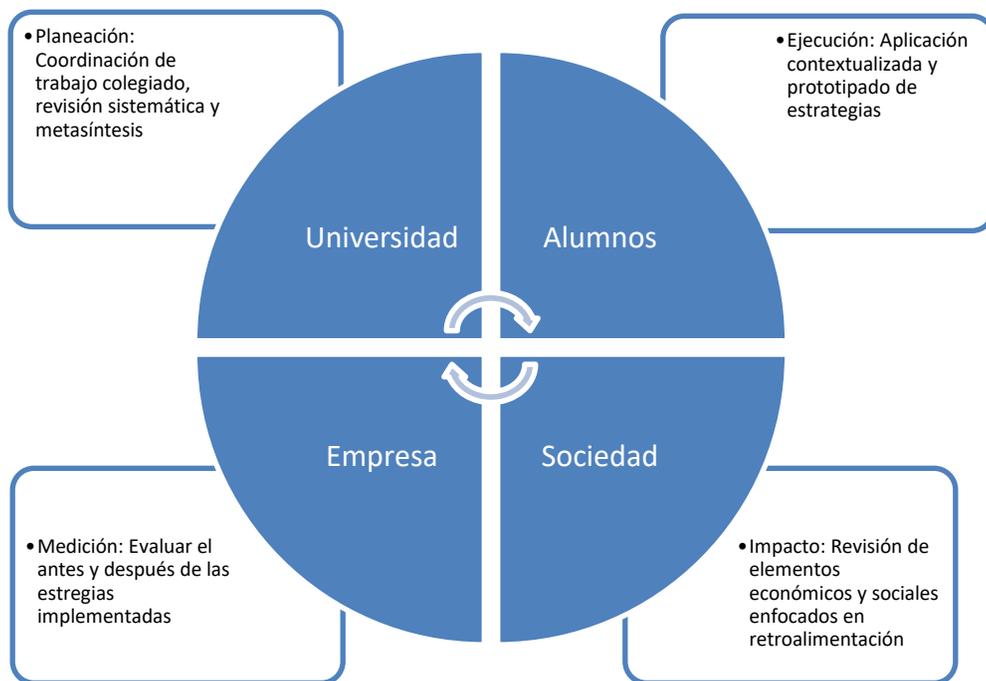
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.2 Esquema de transversalidad

Ámbito	Asignaturas	Técnicas	Herramientas
Direccional	1. Gestión estratégica	Diagnóstico	Matriz, EFI, EFE, Perfil competitivo
	2. Plan de Negocios	Delinear aspectos de estudios técnicos, financieros y organizacionales	Cálculos de inversiones, balance general, estado de resultados, TIR, VPN Taza de retorno
	3. Mercadotecnia Electrónica	Análisis y Planeación de estrategias digitales	Tecnologías de negocios digitales (ERP; CRM; Datawarehouse; BI, KPI, tableros de control)
	4. Calidad aplicada a la gestión Empresarial	Mejora continua	Causa-Efecto, Diagrama de flujo
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> Contextualización de contenidos temáticos Trámites legales Gestión de financiamiento Valoración financiera 	<ul style="list-style-type: none"> Habilidades orales Investigación documental Habilidades de redacción 	Entrevistas Encuestas Cálculos financieros
Aplicativo	Decisiones de procesos y mercadológicas	Prácticas Operativas	Implementación de estrategias planeadas colaborativamente

Fuente: Elaboración propia

Figura 9.2 Funcionalidad de la integración y la transversalidad



Fuente: Elaboración propia

9.3 Análisis y consideraciones en el caso de estudio

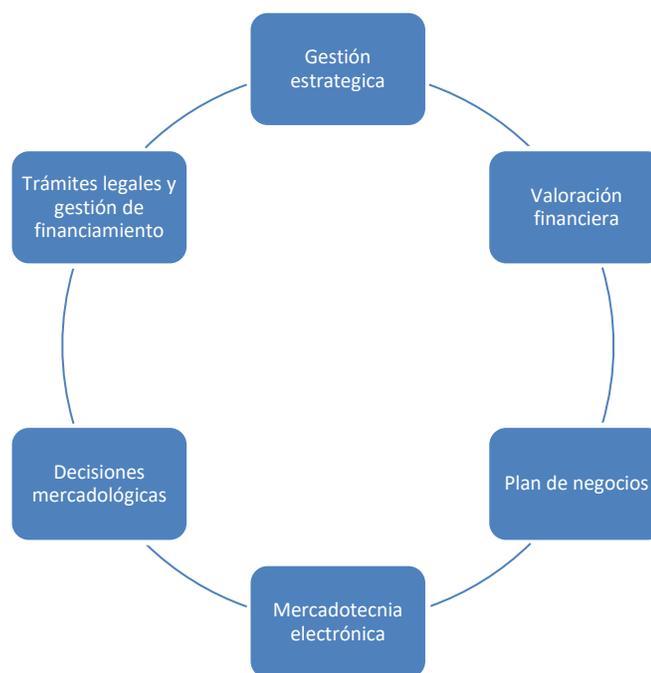
La investigación aplicada al caso de estudio es cualitativa, porque describe y muestra como las asignaturas colaboran para resolver problemas de una empresa y maximizar el servicio, utilizando técnicas de diversas asignaturas. Se llevó a cabo en dos semestres y por ende en dos fases.

La primera fase consistió en: Análisis, integración y colaboración, utilizando la metodología de Proyectos Integradores que propone Tecnológico Nacional de México a través del documento “Proyectos integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales del Tecnológico Nacional de México” (Tecnológico Nacional de México, 2014) a través de los aportes hechos por Tobón (Tobón S., 2010), (Tobón S. P., 2010a) y (Tobón S. y., 2010b). A) Análisis. - Para determinar las asignaturas que detectarán la situación real de la empresa. B) Integración. - La identificación de las técnicas que cada asignatura otorgará en unión al conocimiento para el cruce o entrelazo de los resultados. C) Colaboración.

- La participación profesional para establecer conjuntamente acciones para maximizarán el servicio de la empresa.

El proceso de proyectos integradores parte de una asignatura eje la que se designa mediante el análisis y se van integrando las demás asignaturas, para colaborar entre ellas; se esquematiza en la siguiente figura:

Figura 9.2 Esquema de colaboración de asignaturas



Fuente: Elaboración propia

La segunda fase abarca el conocimiento de la empresa hasta la proyección a futuro de beneficios con la aplicación de las estrategias, y considera: el diagnóstico, planeación, ejecución y medición.

- Diagnóstico. - identificación de la situación real de la empresa aplicando técnicas que permiten el análisis de la información a través de herramientas como FODA, matrices de factores internos, externos de perfil competitivo y de calidad aplicadas a la gestión tales como Diagrama Causa-Efecto, diagramas de procesos, entre otras. Es importante resaltar que en cada fase debe contemplar elementos de investigación como:
- Planeación. - fijación de líneas de acción y estrategias, analizando los resultados del diagnóstico y establecidas mediante técnicas de establecimiento de objetivos
- Ejecución. - la aplicación de técnicas para la realización de las líneas y estrategias.

Medición. - para saber los beneficios que la empresa obtendrá al ejecutar todas las estrategias, se calculó el valor actual de la empresa y posteriormente se calculó el valor de la empresa proyectado a tres años mediante la aplicación de técnicas propias de la asignatura.

Para llevar a cabo la planeación estratégica en una organización es de suma importancia conocer cuál es la situación en la que se encuentra, para así poder prescribir las medidas correctivas, y realizar este diagnóstico se utilizan distintas herramientas y técnicas, algunas de ellas se describen a continuación

La matriz FODA (DAFO ó SWOT por sus siglas en inglés) es una herramienta de fácil uso para obtener una visión general de la situación estratégica de una compañía.

La matriz EFE es una herramienta de la planeación estratégica que de acuerdo con Fred (2013) “permite resumir y evaluar información económica, social, cultural, demográfica, ambiental, política, gubernamental, legal, tecnológica y competitiva de la empresa” (p. 80).

Según Fred (2013) “La matriz EFI sirve para la formulación de estrategias, sintetiza y evalúa fortalezas y debilidades más importantes encontradas en las áreas funcionales de la empresa y también constituye la base para identificar y evaluar las relaciones entre estas áreas” (p. 122).

Los manuales como técnica es un documento que contiene en forma ordenada y sistemática información y/o instrucciones sobre historia, políticas, procedimientos, organización de un organismo social, que se consideran necesarios para la mejor ejecución del trabajo (Duhalt, 1977, p.20). Para Duhalt (1977) la importancia de los manuales radica en que ellos explican de manera detallada los procedimientos dentro de una organización; a través de ellos logramos evitar grandes errores que se suelen cometer dentro de las áreas funcionales de la empresa.

La Mercadotecnia utiliza para su desarrollo técnicas en el proceso de planeación, ejecución y conceptualización de precios, promoción y distribución de ideas, mercancías y términos para crear intercambios que satisfagan objetivos individuales y organizacionales (Espejo y Fisher, 2011, p.5). Fisher (1993) señala que mercadotecnia es la encargada de ofrecer productos y servicios que satisfagan todos estos grupos de necesidades, carencias y deseos a través de procesos de intercambios (p.7).

9.4 Descripción de la empresa para el estudio del caso.

La microempresa seleccionada como caso práctico se dedica a brindar servicios de belleza estética y cuidado corporal de mujeres y hombres, entre sus principales servicios se encuentran: masajes reductivos, mascarillas, exfoliantes, faciales, alaciado de cabello, maquillaje, peinados, manicure, pedicura entre otros. También se dedica a la venta de productos que complementan los servicios que se ofertan dependiendo de las necesidades de los clientes, la empresa está registrada ante la Comisión Federal para los Riesgos Sanitarios, además de ser marca registrada. Actualmente la empresa cuenta con 4 trabajadores capacitados para desarrollar sus actividades, de los cuales 2 se encuentran en el área administrativa y 2 en área de servicio.

9.5 Diagnóstico de la empresa.

Para detectar las áreas de oportunidad de la empresa se utilizó una serie de herramientas las cuales se muestran a continuación:

Para determinar los factores internos de la empresa que se evaluarían en la matriz EFI se aplicaron encuestas tanto a los clientes como a los trabajadores de la organización con la finalidad de identificar los factores.

La encuesta del servicio al cliente se aplicó con la finalidad de identificar desde la perspectiva del cliente si los factores que constituyen la matriz EFI representan una amenaza o una debilidad para la empresa. Esta encuesta se aplicó a un total de 50 personas.

Tabla 9.3 Resultados de la encuesta servicio al cliente.

ENCUESTA DE SERVICIO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1. Califique su experiencia de servicio general en "ELITTE SILUET SPA".	0	0	0	0	0	2	5	9	19	15	50
1.1 Precio	0	0	0	0	0	4	12	8	9	17	50
1.2 Calidad	0	0	0	0	0	0	0	0	11	39	50
2. ¿Qué tan satisfecho está con la persona que lo atendió?	0	0	0	0	0	3	6	22	14	5	50
2.1 La cortesía, responsabilidad y honestidad.	0	0	0	0	0	0	0	14	19	17	50
2.2 El profesionalismo de la persona.	0	0	0	0	0	0	0	5	22	23	50
2.3 La explicación de los servicios ofrecidos.	0	0	0	0	0	0	11	17	13	9	50
3. ¿Se completó correctamente todo el servicio en su cita?	0	0	0	0	0	0	0	18	23	9	50
4. ¿Qué tan satisfecho está con el tiempo que se llevó para realizar el servicio?	0	0	0	0	0	2	8	25	10	5	50
4.1 Facilidad y disponibilidad para agendar cita.	0	0	0	0	1	5	18	10	7	9	50
5. ¿Cuál es el nivel de satisfacción con las instalaciones de Elite Siluet Spa y amenidades ofrecidas?	0	0	0	0	0	13	19	11	6	1	50
5.1 Ubicación.	0	0	0	0	0	0	16	14	16	8	50
5.2 Comodidad en el área de servicios.	0	0	0	0	0	0	7	13	18	12	50
5.3 Limpieza	0	0	0	0	0	0	0	2	1	47	50
5.4 Comodidad en el área de espera.	0	0	0	0	0	0	5	17	8	20	50
5.5 Amenidades ofrecidas (por ej. Bebidas, wifi, snacks, revistas, etc.)	0	0	0	0	0	7	19	21	3	0	50
6. Califique su satisfacción con los productos que ofrece Elite Siluet Spa.	0	0	0	0	0	0	0	7	5	38	50
6.1 Calidad.	0	0	0	0	0	0	0	12	6	32	50
6.2 Efectividad.	0	0	0	0	0	0	0	0	7	43	50
6.3 Precio.	0	0	0	0	0	0	3	16	3	28	50
7. ¿Qué probabilidad hay de que vuelva a adquirir un servicio en el Elite Siluet Spa?	0	0	0	0	0	0	0	6	5	39	50

Fuente: Elaboración propia

Se aplicaron encuestas a los empleados con la finalidad de conocer su desempeño laboral, el nivel de motivación que tienen dentro de la empresa, la satisfacción con su trabajo y si la empresa les remunera de acuerdo con las actividades que realizan. Se evaluó el desempeño que los empleados presentan al desarrollar las actividades asignadas, en cuanto a capacitación y los conocimientos y habilidades que cada uno tiene. La encuesta y los resultados se muestran a continuación:

- **Pregunta 1:**

¿Cómo es la relación con sus compañeros de trabajo?

- **Pregunta 2:**

¿Cómo es la relación con sus superiores?

- **Pregunta 3:**

¿Las actividades que usted desempeña están relacionadas con su perfil?

- **Pregunta 4:**

¿Cuenta con las herramientas necesarias para realizar sus actividades?

¿Con qué frecuencia?

De acuerdo con los resultados de la encuesta del desempeño laboral que se aplicó a los empleados, se mostró que la relación que se tiene con los compañeros de trabajo y con la gerente de la empresa es amena y cordial, y cuentan con las herramientas y el equipo necesario para realizar sus actividades, aunque por otro lado, se detectó la falta de personal en el área de servicio de la empresa ya que cuenta con solo dos empleados, uno de ellos es encargado de la realización de los servicios del salón de belleza y el otro se encarga de todos los servicios que ofrece el spa, y no tienen definida sus funciones de acuerdo a su perfil ya que no cuentan con un manual de funciones y no se respeta la jerarquía organizacional de la empresa.

9.6 Herramienta: Matriz MEFI.

La realización de esta herramienta se llevó a cabo con ayuda de la gerente general, debido a que es ella la que conoce muy bien la empresa, para poder asignarles los valores de la ponderación a la matriz según el grado de impacto de cada uno de los factores en la empresa. Los resultados de esta se muestran en la Tabla 9.4.

Tabla 9.4 Resultados Matriz MEFI de Elitte Siluet Spa

MATRIZ MEFI			
Factor	Peso	Calificación	Total Ponderado
FORTALEZAS			
Buenas instalaciones	0.05	4	0.2
Recursos materiales	0.05	3	0.15
Atención al cliente	0.008	3	0.024
Personal capacitado	0.01	3	0.03
Empresa posicionada	0.03	3	0.09
Avance Tecnológico	0.04	3	0.12
Productos y servicios de Calidad	0.05	4	0.2
Productos propios	0.08	4	0.32
Variedad de servicios	0.07	4	0.28
Documentación en regla	0.05	4	0.2
Tiempos para realizar el servicio	0.03	3	0.09
Precios Accesibles	0.04	4	0.16
Clima Laboral	0.06	4	0.24
Distribución de planta	0.06	3	0.18
DEBILIDADES			
Publicidad	0.05	1	0.05
Procesos no definidos	0.07	1	0.07
Recursos propios	0.03	2	0.06
Ubicación	0.008	1	0.008
Falta de personal	0.07	1	0.07
Funciones no definidas	0.07	1	0.07
Servicio en el área de recepción	0.008	1	0.008
Control de citas	0.02	2	0.04
Horarios de trabajo	0.02	2	0.04

Motivación del personal	0.01	2	0.02
Estacionamiento	0.008	1	0.008
Medidas de seguridad	0.005	2	0.01
Facilidades de pago	0.005	1	0.005
TOTAL	1.00		2.743

Fuente: Elaboración propia

Al haber analizado la matriz de factores internos, los resultados obtenidos dan un total de 2.743, lo que indica de acuerdo con Fred (2013) la empresa se encuentra en una buena posición; la empresa es reconocida en ese sector y cuenta con instalaciones limpias y en buen estado, con la más alta tecnología, tiene los recursos materiales necesarios para ofrecer un servicio de calidad, su distribución de planta es aceptable en donde se encuentra todo en orden, cuenta con sus propios productos que están en regla y son de muy buena calidad y a un precio accesible, avalados por sus clientes.

Aunque se encuentra en una posición buena, es recomendable prestar atención en los factores negativos que a continuación se mencionan:

1. La organización no cuenta con las funciones de los empleados bien definidas ni los procesos, todo esto a consecuencia de la falta de personal, causando que la atención en el área de recepción no tenga control de tiempo de espera.
2. Algunas sugerencias por parte de los clientes es que cuente con facilidades de pago; que las instalaciones del spa no cuentan con los señalamientos de salida de emergencia, un extintor o botiquín de primeros auxilios.
3. La publicidad es otro factor que, aunque en los resultados de la matriz no fue el más bajo, la gerente de la empresa recalcó que es algo que le ha traído dificultades últimamente en las ventas debido a que están han tenido un decremento.

9.7 Herramienta: Matriz MEFÉ

Se aplicó la matriz EFE. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9.5

Tabla 9.5. Resultados Matriz MEFÉ de Elite Siluet Spa

MATRIZ MEFÉ			
Factor	Peso	Calificación	Total Ponderado
AMENAZAS			
Desempleo-economía	0.07	4	0.28
Competencia	0.07	3	0.21
Desconocimiento de los servicios que ofrece un spa	0.05	2	0.1
Precios altos de equipo	0.09	4	0.36
Productos	0.02	2	0.04
Inseguridad	0.08	4	0.32
Crecimiento lento en el mercado	0.01	1	0.01
OPORTUNIDADES			
Índice de obesidad	0.06	4	0.24
Avance tecnológico	0.06	3	0.18
Gran número de personas con problemas emocionales	0.05	2	0.1
Personas con baja autoestima	0.03	2	0.06
Competencia sin permisos para operar	0.08	1	0.08
Mayor preocupación por la belleza estética	0.05	3	0.15
Concursos de belleza en la región	0.1	4	0.4
Mayor número de mujeres en la ciudad	0.05	3	0.15
Alianzas estratégicas con otras empresas	0.03	3	0.09
Ampliación de productos	0.06	3	0.18
Fácil adquisición de materia prima	0.04	3	0.12
TOTAL	1.00		3.07

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la matriz de factores externos se observó que la amenaza más importante para la empresa es el costo elevado del equipo. Otro factor que se considera como amenaza importante es la inseguridad en que se encuentra la región. La ciudad cuenta con un gran índice de desempleo y una gran parte de la población obtienen ingresos que solo les permiten satisfacer necesidades básicas y productos más económicos, cabe mencionar que la competencia es un factor importante ya que en algunas ocasiones puede ofrecer productos y servicios de mayor calidad a un bajo costo.

9.8 Herramienta: Matriz perfil competitivo.

La identificación de la competencia se obtuvo mediante la matriz de perfil competitivo. La evaluación de la competencia se muestra a continuación en la Tabla 9.6

Tabla 9.6. Resultados Matriz de perfil competitivo

Factor	ELITTE SILUET SPA			SL SPA		VICA SPA		COSMETOLOGÍA INTEGRAL		VIDA SPA	
	Valor	Ca lif.	Peso Ponderado	Ca lif.	Peso Ponderado	Ca lif.	Peso Ponderado	Ca lif.	Peso Ponderado	Ca lif.	Peso Ponderado
Instalaciones	0.08	4	0.32	4	0.32	4	0.32	3	0.24	3	0.24
Atención al cliente	0.05	4	0.2	2	0.1	1	0.05	1	0.05	2	0.1
Empresa posicionada	0.03	1	0.03	3	0.09	4	0.12	1	0.03	2	0.06
Avance tecnológico	0.05	1	0.05	4	0.2	2	0.1	2	0.1	3	0.15
Productos y servicios de calidad	0.1	4	0.4	3	0.3	3	0.3	4	0.4	2	0.2
Productos propios	0.1	4	0.4	1	0.1	1	0.1	4	0.4	1	0.1
Variedad de servicios	0.1	4	0.4	4	0.4	2	0.2	3	0.3	1	0.1
Tiempos para realizar el servicio	0.05	3	0.15	1	0.05	2	0.1	2	0.1	2	0.1
Precios	0.15	3	0.45	4	0.6	4	0.6	1	0.15	3	0.45
Distribución de planta	0.06	3	0.18	4	0.24	4	0.24	3	0.18	3	0.18
Publicidad	0.02	4	0.08	4	0.08	4	0.08	1	0.02	3	0.06
Ubicación	0.01	1	0.01	2	0.02	4	0.04	3	0.03	3	0.03
Horarios	0.2	1	0.2	2	0.4	2	0.4	2	0.4	2	0.4
TOTAL	1.00		2.87		2.9		2.65		2.4		2.17

Fuente: Elaboración propia

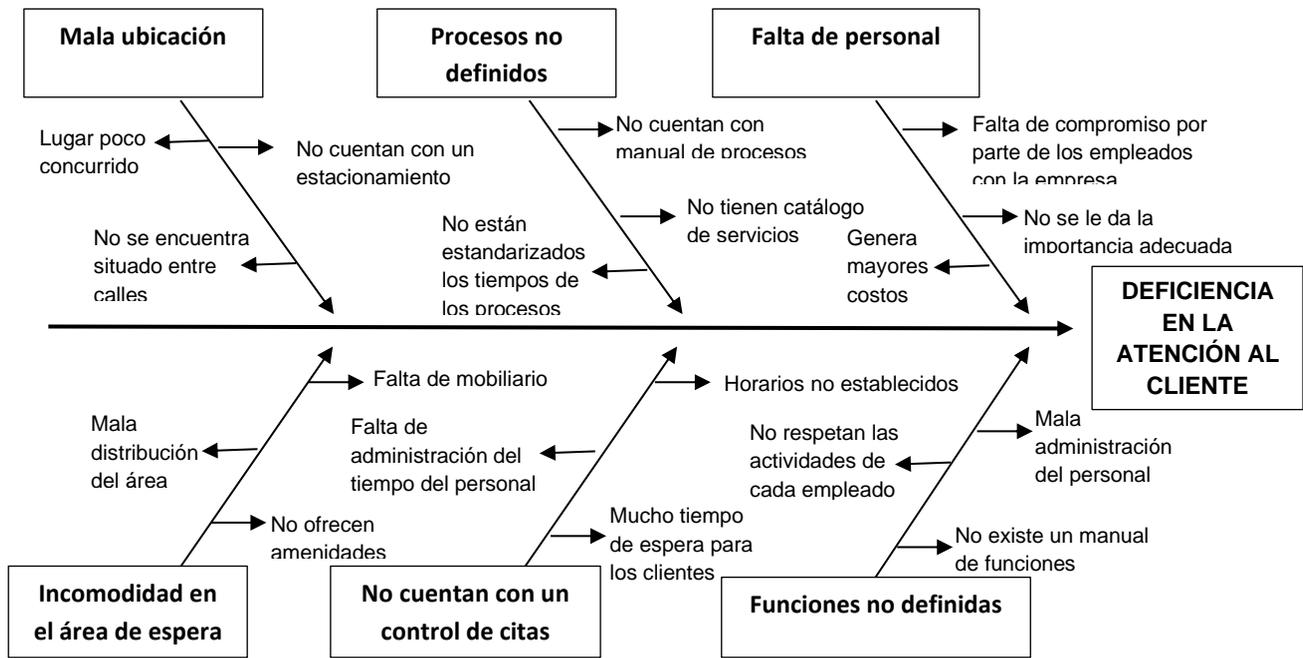
La empresa se encuentra posicionada en segundo lugar, por debajo de empresa SL SPA, con una diferencia mínima, los factores analizados en esta matriz son los siguientes:

En cuanto a las instalaciones 2 empresas de las 4 consideradas como competencia de cuentan con unas instalaciones muy adecuadas y bien acondicionadas al igual que esta, lo que le da mayor ventaja es la atención al cliente. Actualmente no se encuentra en una posición muy favorable en el mercado en comparación con empresa 3 debido a que esta empresa si cuenta con una campaña de mercadotecnia más favorable. Otro factor muy importante es el avance tecnológico, y a pesar de que no cuenta con la suficiente tecnología en comparación con empresa 2, nuevamente es el servicio al cliente el que le da la ventaja competitiva.

9.9 Herramienta: Diagrama de causa-efecto.

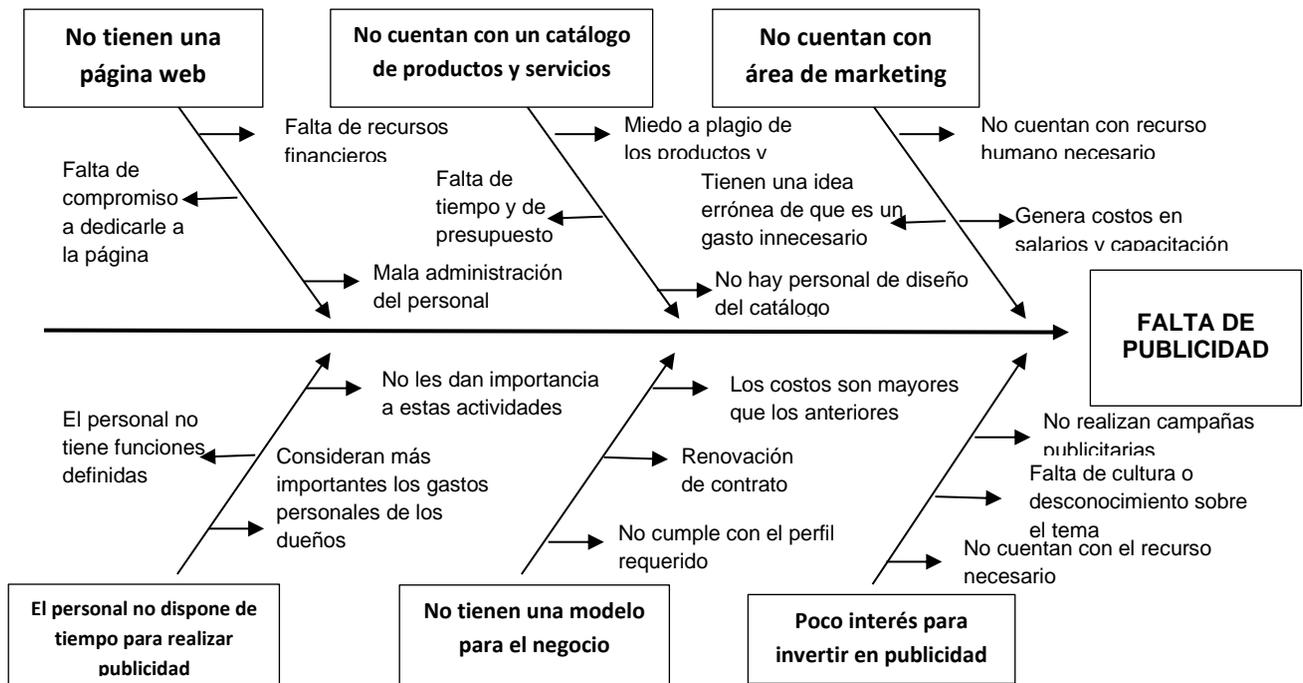
En relación con los resultados obtenidos en la matriz EFI de la empresa se realizó el diagrama para identificar la causa principal de los problemas que impactan en mayor medida a la organización para posteriormente buscar una solución a estos. Dichos diagramas se muestran a continuación en la Figura 9.3 y Figura 9.4

Figura 9.3 Diagrama causa-efecto de la deficiencia en la atención al cliente



Fuente: Elaboración propia

Figura 9.4 Diagrama causa-efecto de la falta de publicidad



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de los diagramas se detectaron las principales causas del por qué la empresa no brinda un buen servicio, siendo la causa más relevante la falta de personal, de igual manera al no contar con un manual de funciones ni tener estandarizados sus procesos hacen que el tiempo en la realización del servicio sea más prolongado.

Otro problema que también se detectó en las matrices es la falta de publicidad por lo que se realizó otro diagrama para detectar las principales causas que conllevan a dicho problema. Este inconveniente de igual manera está relacionado con la falta de personal, ya que la gerente de la empresa es la encargada de realizar las cuestiones publicitarias, pero debido a la falta de personal en el área de servicio ella debe atender esas actividades dejando a un lado las cuestiones de mercadotecnia y la actualización de sus estrategias comerciales.

9.10 Herramienta: Los 5 Por Que's.

Los 5 Por Que's es una técnica de calidad sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar sus posibles causas principales.

En esta ocasión se generaron las siguientes preguntas para poder determinar las causas principales que conllevan a las problemáticas existentes en la empresa y se muestran a continuación.

1. ¿Por qué la empresa no brinda un buen servicio al cliente?

Por qué las funciones del personal no están bien definidas.

2. ¿Por qué no están bien definidas las funciones del personal?

Porque no cuenta con el personal necesario para cubrir su demanda.

3. ¿Por qué no cuenta con el personal necesario para cubrir su demanda?

Porque la empresa no quiere incurrir a más costos.

4. ¿Por qué la empresa no quiere incurrir a más costos?

Porque da prioridad a satisfacer gustos personales de los dueños.

5. ¿Por qué da prioridad a satisfacer gustos personales de los dueños?

Porque desconocen la importancia que tiene el invertir en otros aspectos que beneficien y ayuden a mejorar la empresa.

6. ¿Por qué desconocen la importancia que tiene el invertir en otros aspectos que beneficien y ayuden a mejorar la empresa?

Idea errónea por parte de los administrativos el pensar que el realizar una inversión es un gasto y por lo tanto no se obtendrán beneficios y así como el desconocimiento de que en un futuro esos "gastos" generarán mayores utilidades.

De acuerdo con la técnica que se aplicó se considera que la principal problemática que afecta al no brindar un buen servicio y que las funciones no están definidas es la falta de trabajadores, si la empresa contara con el personal necesario para satisfacer la demanda, así como también con un manual de funciones el tiempo en la realización de cada uno de los servicios que ofrece se reducirían y se tendría un mayor tiempo para atender otras cuestiones tales como mejorar el servicio en el área de recepción, llevar un control de las citas para que en general el servicio al cliente sea mejor.

9.11 Herramienta: FODA.

El siguiente análisis FODA presenta los factores internos y externos de la empresa, como primer punto se muestra el análisis interno de la empresa que se refiere a sus fortalezas y debilidades, así como el análisis externo que muestra las oportunidades y amenazas de la empresa en cuanto a su entorno.

Tabla 9.7 Resultado del FODA

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Personal Capacitado • Buenas Instalaciones • Clima laboral • Productos propios • Variedad de servicios • Empresa posicionada 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de obesidad en la región. • Avance tecnológico • Competencia sin permiso para operar • Ampliación de productos • Fácil adquisición de materia prima
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de personal • Funciones no definidas • Publicidad • Ubicación • Servicio en el área de recepción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desempleo- Economía • Competencia • Precios altos de los equipos • Inseguridad • Crecimiento lento en el mercado

Fuente: Elaboración propia

9.12 Análisis de la problemática a resolver

Se presenta a través de la herramienta de matriz por objetivos estratégicos, una vez realizado el diagnóstico de la empresa e identificado las áreas de oportunidad de esta se plantearon estrategias, las cuales cuentan con líneas de acción que ayudarán a mejorar dichas áreas de oportunidad. A continuación, se muestran las estrategias que se ejecutaron, así como también cada una de las actividades realizadas.

Tabla 9.8 Estrategias propuestas para implementación operativa.

Mejorar el servicio al cliente.	Disminución de un 90% de las quejas de los clientes.	Definir las funciones de cada uno de los empleados.	*Realizar un manual de descripción de puestos en donde se detalle cada una de las actividades que debe realizar cada empleado.
		Definir los procesos de la empresa.	*Realizar un manual de procesos. *Realizar un manual de calidad que ayude a la estandarización de cada uno de los procesos de la empresa.
		Minimizar el tiempo de espera en el área de recepción.	* Propuesta de un instrumento electrónico para una mejor gestión en las citas con los clientes.
		Mejorar la comodidad de los clientes en el tiempo de espera.	Propuestas de servicios en el tiempo de espera.
		Dar a conocer a los clientes los beneficios de los servicios que ofrece la empresa	*Diseñar un catálogo de productos y servicios donde se describan los beneficios y las propiedades de cada uno.
Atraer nuevos clientes.	Incrementar las ventas de los servicios en un 4% con respecto al anterior.	Atraer la atención de nuevos clientes.	* Crear un sitio web con información de la empresa para dar a conocer los productos y servicios que ofrece. *Proponer a la empresa que se coloquen anuncios en diversos lugares concurridos de la ciudad. *Repartir volantes en diversos sitios concurridos de la ciudad.

Ampliar el mercado de la empresa.	Incrementar las ventas de los productos de la empresa	Conocer cuáles son los trámites jurídicos y legales para la distribución de los productos propios de la empresa en lugares donde se comercialicen productos de belleza.	*Investigar los trámites jurídicos necesarios para a distribución de productos propios de la organización en lugares donde se comercialicen productos de belleza
	Expandir la empresa a otros lugares.	Conocer cuáles son los trámites jurídicos y legales para crear franquicias de la empresa.	* Investigar los trámites jurídicos necesarios para realizar franquicias. *Realizar una guía de los trámites necesarios para franquiciar la empresa y distribuir sus productos.

Fuente: Elaboración propia

9.13 Procedimiento y descripción de las actividades estratégicas a implementar.

9.14 Mejorar el servicio al cliente

Para lograr mejorar el servicio al cliente se ejecutaron las líneas de acción tomando en cuenta las estrategias establecidas:

- Realizar un manual de descripción de puestos: El manual de descripción de puestos define las funciones de sus trabajadores, para mejoramiento de la eficiencia del desempeño de sus colaboradores y la calidad del servicio que actualmente oferta .
- Realizar un manual de procesos: El manual de procesos se elaboró con el objetivo de implementar un sistema de control interno, para establecer los procedimientos de : Proceso de contratación de personal; Proceso de adquisición de materiales; Proceso de capacitación del personal; y Proceso de atención al cliente.

Propuesta de un instrumento electrónico para una mejor gestión en las citas con los clientes: Se hizo la sugerencia de usar un sistema de reservas online llamado TIMIFY que es un calendario web para agendar citas el cual consiste en gestionar desde un ordenador, los clientes pueden pedir sus citas teniendo una cuenta o mediante la página de la empresa de Facebook.

- Diseñar un catálogo de productos y servicios:
Se realizó un catálogo de productos y servicios que ofrece, utilizando paquetería de software con técnicas de diseño.

Figura 9.5 Catálogo de productos y servicios



Fuente: Elaboración propia

9.15 Atraer nuevos clientes

Crear un sitio web con información de la empresa: Para la elaboración de esta línea de acción primeramente se investigó todo el marco legal que requiere una página web con tienda online. Se diseñaron y colocaron anuncios en diversos lugares de la ciudad, utilizando herramientas de paquetería de diseño.

9.16 Ampliar el mercado de la empresa.

Identificar los trámites jurídicos y legales para la distribución de los productos propios de la empresa en lugares donde se comercialicen productos de belleza, para llevar a cabo esta línea de acción se utilizaron técnicas de investigación sobre los trámites legales para distribuir los productos de la empresa en lugares donde vendan productos de belleza.

Se investigó los trámites necesarios para franquiciar una empresa según la Asociación Mexicana de Franquicias, en donde se pudo observar que un requisito primordial es el contrato de franquicias, cabe mencionar que la empresa no contaba con este por lo que se elaboró dicho contrato

9.17 Medición y evaluación del plan estratégico.

Cuatro meses después de haber implementado las estrategias de este objetivo se aplicó nuevamente las encuestas realizadas con anterioridad al mismo número de personas las cuales fueron 50 clientes que ingresaron a la empresa, con la finalidad de comparar los resultados previos y los posteriores a la ejecución de las estrategias para conocer la satisfacción de los clientes. La encuesta aplicada se muestra a continuación:

Tabla 9.9 Encuesta de satisfacción de clientes

ENCUESTA DE SERVICIO										
Nombre:	Fecha:									
Favor de marcar con una X la respuesta que mejor describa su nivel de satisfacción con base a su última visita. Donde 1 es insatisfecho y 10 mayor satisfacción										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Califique su experiencia de servicio general en "ELITTE SILUET SPA".										
1.1 Precio										
1.2 Calidad										
2. ¿Qué tan satisfecho está con la persona que lo atendió?										
2.1 La cortesía, responsabilidad y honestidad.										
2.2 El profesionalismo de la persona										
2.3 La explicación de los servicios ofrecidos.										
3. ¿Se completó correctamente todo el servicio en su cita?										
4. ¿Qué tan satisfecho está con el tiempo que se llevó para realizar el servicio?										
4.1 Facilidad y disponibilidad para agendar cita.										
5. ¿Cuál es el nivel de satisfacción con las instalaciones de ELITTE SILUET SPA y amenidades ofrecidas?										
5.1 Ubicación										
5.2 Comodidad en el área del servicio										
5.3 Limpieza.										
5.4 Comodidad en el área de espera.										
5.5 Amenidades ofrecidas (por ej. Bebidas, wifi, snacks, revistas, etc.)										
6. Califique su satisfacción con los productos que ofrece ELITTE SILUET SPA										
6.1 Calidad										
6.2 Efectividad										
6.3 Precio										
7. ¿Qué probabilidad hay de que vuelva a adquirir un servicio en ELITTE SILUET SPA?										

Fuente: Elaboración propia

Para saber los beneficios que la empresa obtendrá al ejecutar todas las estrategias, se calculó el valor actual de la empresa y posteriormente se calculó con la proyección a tres años, tomando en cuenta datos pasados de la organización, esto con la finalidad de analizar el impacto que tendrá el plan estratégico, es decir el crecimiento porcentual de la empresa después de ejecutar el plan estratégico.

Para calcular el valor de la empresa, se utilizó las utilidades de años anteriores, trema, tasa de incremento estimado anteriormente en base a pronósticos.

El cálculo se muestra a continuación:

Cálculo del valor de la empresa antes de la ejecución de las estrategias

(1)

Datos	
FEN1	Utilidades año 2016
FEN2	Utilidades año 2017
FEN3	Utilidades año 2018
g	4%
WACC	12%

$$VR = \frac{FEN_n(1+g)}{r-g}$$

$$VR = \frac{539631.95(1.04)}{0.12 - 0.04}$$

$$VR = 7,015,215.35$$

$$VR = [FEN_{-1}(1+i)^1 + FEN_{-2}(1+i)^2 + FEN_{-3}(1+i)^3] + VR$$

$$R = [539,631.95(1+12)^1 + 589,093.00(1+12)^2 + 490,160.89(1+12)^3] + 7,015,215.35$$

$$VE = 2,031,986.802 + 7,015,215.35$$

$$VE = 9,047,202.152$$

Cálculo del valor de la empresa después de la ejecución de las estrategias:

(2)

Datos	
FEN4	Utilidades año 2019
FEN5	Utilidades año 2020
FEN6	Utilidades año 2021
g	4%
WACC	12%

$$VR = \frac{FEN_n(1+g)}{r-g}$$

$$VR = \frac{607,012.56(1.04)}{0.12 - 0.04}$$

$$VR = 7,891,163.28$$

$$VR = \left[\frac{FEN_1}{(1+i)^1} + \frac{FEN_2}{(1+i)^2} + \frac{FEN_3}{(1+i)^3} \right] + VR$$

$$VR = \left[\frac{561,127.23}{(1.12)^1} + \frac{583,665.92}{(1.12)^2} + \frac{607,012.56}{(1.12)^3} \right] + 7,891,163.28$$

$$VE = 1,398,441.261 + 7,891,163.28$$

$$VE = 9,289,604.541$$

$$\text{Porcentaje de incremento: } \frac{9,289,604.541}{9,047,202.152} - 1(100) = 2.68\%$$

El 2.68% representa el crecimiento porcentual aproximado que tendrá la empresa después de la ejecución del plan estratégico.

Después de ejecutar las estrategias planteadas se analizó las utilidades obtenidas en el año 2019 obteniendo \$566,253.28, anteriormente se había pronosticado obtener \$561,127.23, por lo que es posible observar que las estrategias están dando los resultados esperados, ya que los datos reales obtenidos en este año son superiores a las utilidades estimadas anteriormente.

Cabe mencionar que en este año la empresa obtuvo una mayor inversión y si las estrategias se siguen implementando las utilidades de la empresa podrán seguir aumentando.

9.18 Resultados

El estudio se enfocó en la aplicación de técnicas de diversas asignaturas para maximizar el servicio de una empresa, generando la transversalización de cada cátedra que intervino como parte de un trabajo colegiado y colaborativo, para el caso de estudio práctico se describe la intervención en una empresa que presta los servicios de belleza estética y cuidado corporal de mujeres y hombres, en masajes reductivos, mascarillas, exfoliantes, faciales, alaciado de cabello, maquillaje, peinados, manicure, pedicura entre otros. El caso permite observar el desarrollo e intervención de los conocimientos llevados a la empresa para su mejor ámbito de aplicación.

Derivado de lo anterior se describe la relevancia del impacto que tuvo la empresa al implementar las estrategias, ya que se ayudó a:

- a) Disminuir las quejas de los clientes: que se logró alcanzar en un 90% lo cual es un porcentaje muy significativo que se puede ir mejorando para poder lograr la satisfacción total.
- b) Atracción de nuevos clientes: en este objetivo fueron; el 55% de los clientes que hoy en día adquieren productos o servicios, conocieron la empresa a través del sitio web, anuncios y volantes publicitarios y se logró recuperar el 24% de los clientes perdidos.
- c) El tercer aspecto es franquiciar la empresa y distribuir sus productos en otros sitios en donde se comercialicen productos de belleza y así expandir su mercado, por lo cual se elaboraron los requisitos jurídicos correspondiente contaba con el 45%, con las estrategias planteadas se logró cubrir otro 30%.

La empresa permitió llevar a cabo las estrategias porque se midió los beneficios que la empresa obtendrá al ejecutar todas las estrategias, se calculó el valor actual y se calculó el valor de la empresa proyectado a tres años.

El esquema de integración de Triple Hélice con planeación propia sirvió para darle dirección y diseño al estudio, la transversalidad y la integración se encuentran dentro del quehacer cotidiano del Tecnológico, los docentes como actuadores colaboraron en el direccionamiento del caso analizando e interactuando de acuerdo con sus diversas áreas de conocimiento y perfil profesional proporcionando asesoría para la aplicación de técnicas administrativas y financieras a la empresa.

Por tanto; se obtiene un claro ejemplo de contextualización del tipo de trabajo colaborativo docente e interdisciplinario para apoyar los estudiantes en su formación profesional.

9.19 Agradecimientos

Agradecemos a la empresa que permitió llevar a cabo el proyecto, participando activamente para proporcionar los datos necesarios para la su realización. Y al personal que en ella labora por apoyar, guiar y orientar para hacer posible se diseñaran las matrices de diagnóstico apegados a la realidad que de manera cotidiana enfrenta la empresa con sus clientes, productos y servicios.

9.20 Conclusiones

La transversalidad de las asignaturas con la aplicación de técnicas permitió obtener el conocimiento real de la situación de la empresa, el diagnóstico que se obtuvo fue utilizado y analizado para la fijación de estrategias y líneas de acción y mejorar las áreas que lo requerían, debido a que una empresa tiene áreas distintas se utilizan técnicas de diversas asignaturas permitiendo la integración para la obtención del mismo fin; es decir, la colaboración permite maximizar el servicio de la empresa en tres áreas, mejorar el servicio al cliente, atraer nuevos y ampliar el mercado.

Observando así lo que Henry Etzkowitz comenta al respecto de que “La dinámica de la sociedad ha cambiado desde poderosas fronteras entre esferas y organizaciones institucionales aisladas a un más flexible sistema de traslapamiento, en el cual cada una asume el papel de las otras. La universidad es una empresa fundadora mediante instalaciones de incubación; la industria es una entidad educadora a través de universidades empresariales y el gobierno es un capitalista de riesgo por medio de la Investigación de la Innovación en Pequeñas Empresas (SBIR) y otros programas (Etzkowitz, Gulbrandsen y Levitt, 2000). El gobierno ha estimulado también la I&D entre empresas, universidades y laboratorios nacionales para resolver problemas de competitividad nacional (Wessner, 1999).”

La integración de técnicas y herramientas de diversas asignaturas se cumplió logrando integrar aspectos de habilidades profesionales, sumado a la experiencia, coordinación de esfuerzos y aspectos intrínsecamente ligados a brindar soporte y asesoría, alcanzando con ello trabajo colaborativo de calidad entre los profesionistas que imparten las asignaturas.

La Tabla 9.10 permite observancia de aplicación de técnicas y herramientas con base en las siguientes asignaturas participantes:

Tabla 9.10 Resumen de interrelación de asignaturas, técnicas y herramientas

Asignaturas	Técnicas y herramientas
Gestión Estratégica	Matrices: EFI, EFE, Perfil competitivo, Objetivos estratégicos
Plan de Negocios	TIR, VPN Taza de retorno
Mercadotecnia Electrónica	Análisis selectivo de herramientas aplicables al negocio
Calidad Aplicada a la Gestión Empresarial	Causa-Efecto, Diagrama de flujo
Decisiones mercadológicas	TIR, VPN Taza de retorno
Trámites Legales y Gestión de Financiamiento	Investigación documental para apoyar información pertinente en dependencias de gobierno

Fuente: Elaboración propia

La colaboración y transversalidad se ven reflejados en el estudio de caso de la empresa de acuerdo con los resultados que se obtuvieron en mejorar el servicio al cliente, atraer nuevos clientes y expandir el mercado de la empresa, lo cual ilustra a los estudiantes de forma real la colaboración profesional, que forma parte de las competencias y habilidades de su perfil de egreso.

Alcanzar la interacción de las entidades descritas para la triple hélice comprueba que la transversalidad e integración colaborativa y colegiada tuvo consecuencias positivas, y que el trabajo colaborativo permite ejemplificar a los estudiantes la integración de los conocimientos para la solución de problemas, mejorar áreas de la empresa o maximizar el servicio que ofrece en ellas. Eliminando cada vez más el paradigma de ver las asignaturas de forma aislada o separadas en la aplicación y resolución de retos empresariales.

9.21 Referencias

Alfaro, M, y Aranda, G. (2014). El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Anónimo.(2018).LOPE.Recuperadodehttp://www.telecomunicacionesalicante.com/informatica/recursos_protegidos_por_la_lopd.html.
- Boone, L. y Kurtz, D. (2011). *Mercadotecnia*. (2da. Ed.). México: Pearson Education.
- Cárdenas-Rodríguez, R., Terrón-Caro, M. T., & Monreal-Gimeno, M. C. (2015). INTERDISCIPLINARIEDAD O MULTIDISCIPLINARIEDAD EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO. DESAFÍOS PARA LA COORDINACIÓN DOCENTE. *Bordón Revista de pedagogía*, Vol. 67, Num. 3, Pag. 167.
- Czinkota, R.M. y Kotabe, M. (2001). *Administración de mercadotecnia*. México: Thomson Learning.
- Diamond, S. (1983). *Como preparar manuales administrativos*. (3ra. Ed.). Colombia: Mc Graw Hill.
- Duhalt, M. (1977). *Los manuales de procedimientos en las oficinas públicas*. (2da. Ed.) México: Programa Editorial de la Coordinación de Humanidades.
- Espejo J. y Fisher L. (2011). *Mercadotecnia*. (4ta. Ed.). México: Mc Graw Hill.
- Etzkowitz, H. (Septiembre de 2009). SIVU. Obtenido de ANUIES: <http://www.sivu.edu.mx/portal/noticias/2009/VinculacionLatriplehelice.pdf>
- Eyssautier, M. (2002). *Elementos básicos de Mercadotecnia*. (3ra. Ed.). México: Trillas.
- Fisher, L. (1993). *Mercadotecnia*. (2da. Ed.). México: Mc Graw Hill.
- Flores Lagunes, E. A., & Pascual Castro, D. B. (2020). *Propuesta de un modelo de gestión utilizando las mejores prácticas de CMMI SVC e ITIL v3 para la mejora del proceso de servicios de los proveedores en mantenimiento automotriz*.
- Fred, D. (2013). *Administración Estratégica*. México: Pearson.
- Galindo, C.R. (2006). *Mercadotecnia*. México: Trillas.
- Gallardo, H. J. (2012). *Administración estratégica*. México: Alfaomega.
- Gutiérrez, H. (2005). *Calidad total y productividad*. México: Mc Graw Hill.
- Harden, R. M. (Agosto de 2000). <https://www.researchgate.net/>. (M. E. 2000:34, Ed.) doi:10.1046/j.1365-2923.2000.00697.x
- Jimenez, A. E. y Iturralde, S. A. (2017). La importancia de la elaboración del plan de marketing en las empresas de servicio, recuperado de <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/ec/2017/empresas-ecuador.html>.
- Kotler, P. y Armstrong, G. (2004). *Mercadotecnia*. (6ta. Ed.). Pearson Education.
- Martinez Rondon, L. K. (2020). *LA CALIDAD DEL SERVICIO HOTELERO PARA AUMENTAR LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN EL HOTEL MR DELTA CHICLAYO*, 2019.
- Morales Valencia, M. P. (2020). *Mejora del sistema de gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente enfocado en incrementar la sostenibilidad de una empresa*.
- Palacios Gúzman, J. G. (2020). Implementación de un sistema informático web para ventas de equipos de la empresa Claro Grupo Palacios SAC-Huarmey; 2019.
- Pérez Bermúdez, M. I. (2020). *Procedimiento para la evaluación de la calidad percibida del servicio de asistencia técnica en la Empresa de Diseño e Ingeniería Las Tunas* (Doctoral dissertation).

Quintero, G. C. (2007). researchgate.net. Obtenido de II Coloquio Internacional sobre Currículo: https://www.researchgate.net/profile/Gilbert_Caviedes/publication/264875665_LA_INDAGACION_INTERDISPLINARIA_Y_LA_TRANSVERSALIDAD_EN_EL_CURRICULO_DESDE_UNA_PERSPECTIVA_DEL_DISENO_BASADO_EN_LA_INVESTIGACION/links/575ac31708aed884620d9017/LA-INDAGACION-INTERD

Quintero, M. A. (1 de Septiembre de 2005). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2310230>. Obtenido de ISSN 1316-0087, Vol. 20, N°. 2, 2005, págs. 241-274: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2310230>

Tecnológico Nacional de México. (2014). Proyectos Integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales (2ª edición.). México. Obtenido de http://www.tecnm.mx/images/areas/docencia01/Libre_para_descarga/Proyectos_Integradores_2_ed/Proyectos_Integradores_2da_edicion.pdf

Tobón, S. (2010). Formación integral y competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación. Bogotá: Ecoe.

Tobón, S. P. (2010a). Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias. México: Pearson.

Tobón, S. y. (2010b). El modelo de competencias en las prácticas docentes: Hacia escenarios significativos de vida. México: Conrrumbo.

Un nuevo modelo: la Triple Hélix. (3 de Julio de 2013). Obtenido de <http://profesores.universia.es/investigacion/spin-off/modelo-triple-helix/>

Capítulo 10 Realidad Aumentada para facilitar la comprensión de tópicos de bases de datos

Chapter 10 Augmented Reality to facilitate understanding of database topics

ALONSO-CALPEÑO, Mariela Juana†* y SANTANDER-CASTILLO, Julieta

Instituto Tecnológico Superior de Atlixco/ Tecnológico Nacional de México.

ID 1^{er} Autor: *Mariela Juana, Alonso-Calpeño* / **ORC ID:** 0000-0001-7276-1923

ID 1^{er} Coautor: *Julieta, Santander-Castillo* / **ORC ID:** 0000-0002-6998-471X

DOI: 10.35429/H.2020.5.179.195

M. Alonso & J. Santander

mariela.alonso@itsatlixco.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

Las tecnologías existentes en este siglo XXI van modificando cada uno de los ámbitos dentro de nuestra sociedad. La educación, al ser uno de los ejes más importantes dentro de ella, debe forzosamente integrarse a esa dinámica de cambio. En las aulas el proceso de enseñanza-aprendizaje debe irse adaptando a esta nueva exigencia para ser congruente con la realidad que le circunda. Con cada tecnología que surge, también surge una nueva oportunidad para detonar la mejora de un proceso, así la realidad aumentada (RA), de acuerdo con trabajos previos de investigación, ha demostrado ser eficiente para mejorar el proceso de aprendizaje significativo ubicuo y válido a través de la observación, el análisis y la comprensión de temas complejos. En este trabajo se abordan dos desafíos planteados en la literatura: que existen pocas aplicaciones por cada tema específico y que existen pocos trabajos que corroboren los resultados del impacto en el proceso de aprendizaje. Para ello, se ha desarrollado una aplicación que integra la realidad aumentada en nivel 1 para los temas específicos de migración, réplica, espejeo y monitoreo de una base de datos. Estos temas se encuentran insertados en el plan de estudios de la materia de Administración de Base de datos correspondiente al plan de estudios de la Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México (TecNM). Se eligieron estos tópicos porque en años anteriores se observó que el rendimiento académico en estos temas es bajo en comparación a los otros temas que se abordan en la materia. Para el desarrollo de la aplicación se utilizó la metodología XP y se integró a la misma el proceso para el desarrollo de recursos con RA nivel 1. Las pruebas aplicadas directamente con dos grupos focales confirma que se incentiva positivamente a los estudiantes con aplicaciones que pueden instalar en su Smartphone, quienes al tener los recursos disponibles y poder observarlos las veces que lo requieren logran alcanzar un nivel de comprensión mayor con sentido crítico y que el desempeño al ingresar al laboratorio mejora porque pueden explicar, interpretar e inferir sobre los procesos abordados. Con este resultado se contribuye a la literatura que confirma la eficacia de la RA en recursos educativos y, también al desarrollo de aplicaciones de temas específicos.

Realidad aumentada, aprendizaje significativo, aplicación móvil, bases de datos

Abstract

Technologies emerging in 21st century are modifying many spaces within our society. Education, being one of the most important fields within, must necessarily be integrated into this dynamic of change. In classrooms, the teaching-learning process must adapt to this new requirement in order to be consistent with the reality that surrounds it. With each technology that arises, there is also a new opportunity to ignite the improvement of a process; so, according to previous research works, augmented reality (AR) has been shown to be efficient in improving the process of valid, meaningful and ubiquitous learning through observation, analysis and understanding of complex issues. In this work are addressed two challenges that raised in the literature: that there are few applications for each specific topic and that there are few works that corroborate the results of the impact on the learning process. For this, along with a student an application has been developed, which integrates augmented reality in level 1 for the specific topics of migration, replication, mirroring and monitoring of a database. These topics are inserted in the curriculum of the subject of Database Administration corresponding to the Tecnológico Nacional de México (TecNM) Computer Systems Engineering curriculum. These topics were chosen because it was observed in previous years that academic performance in these subjects was low compared to the other subjects that are addressed in the subject. For the development of the application, the XP methodology was used and the process for the development of resources with level 1 AR was integrated into it. Tests applied directly in two focus groups confirm that students are encouraged with applications that they can install in their Smartphone. And by having the resources available and being able to observe them as many times as they require, they manage to reach a higher level of understanding with critical sense and they improve performance when entering the laboratory, because they can explain, interpret and infer about the addressed processes. This results contributes to the literature confirming the effectiveness of AR in educational resources and also contributes to the development of applications on specific topics.

Augmented reality, meaningful learning, mobile application, management of databases

10. Introducción

La era digital está modificando las formas de organización global y local, generando efectos positivos en el desarrollo humano, económico y social. La incorporación de herramientas digitales en el ámbito educativo ha resultado ineludible. Actualmente, existen múltiples e innovadoras aplicaciones educativas apoyadas en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), y esto obedece a cuatro razones fundamentales: 1) ofrecen una gran capacidad de comunicación visual y auditiva, 2) ofrecen acceso a innumerables recursos digitales, 3) forman parte de la práctica cotidiana de interacción social y, 4) forman parte de las competencias requeridas en el ámbito social y laboral (Herrera-Batista, 2009). De ellas se intenta aprovechar todo el potencial colaborativo, interactivo, creativo e innovador en el marco del nuevo paradigma educativo (Castañeda y Adell, 2013).

Este nuevo paradigma en la educación exige un esfuerzo por actualizar el sentido de la educación, las formas en que se desarrolla, conectarla con las necesidades y demandas de la sociedad del siglo XXI, y además con los intereses, necesidades, gustos y habilidades de cada estudiante (Severin, 2013), con el fin de propiciar que éstos asuman una postura activa, reflexiva, crítica, segura y de interés que les permita construir conocimiento (Espinosa-Ríos, González-López, Hernández-Ramírez, 2016), y esto representa un gran desafío.

En la educación de nivel superior, el uso de las TIC ha pasado a ser un tema central (Tapia, Navarro y Tuya, 2017) ya que a partir de ellas se busca diseñar herramientas didácticas digitales con el fin de incorporarlas en acciones formativas para la representación y análisis de la realidad circundante, y como apoyo para lograr un aprendizaje significativo para los estudiantes (Fernández, Sánchez y Calatayud, 2018).

Dentro de las tecnologías emergentes que pueden implementarse en la educación, la realidad aumentada (RA) se posiciona entre las más destacadas. El informe EDUCAUSE Horizon Report, elaborado por un grupo de 98 expertos, identifica y describe las seis tecnologías emergentes que tendrán un impacto significativo en la educación superior en los próximos cinco años. En la edición 2016, mencionaba como acciones a desarrollar en un año o menos: el BYOT (Bring Your Own Technology), trae tu propia tecnología, el análisis del aprendizaje y el aprendizaje adaptativo; y, como tecnologías emergentes a desarrollarse entre los 3 años siguientes: la realidad aumentada, la realidad virtual, y los makerspaces (Alexander, et al., 2016). Asimismo, en la edición 2017 de Edu Trends emitida por el Observatorio de innovación educativa del Tecnológico de Monterrey, se menciona que la adopción e integración de las tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada representan un sinfín de posibilidades para innovar en la práctica docente (Observatorio de Innovación Educativa, 2017).

En el contexto del nuevo paradigma de la educación del Siglo XXI, la Realidad Aumentada (RA) se constituye, por tanto, como una tecnología emergente y con verdaderas posibilidades de impactar en el mismo (Cabero y Llorente, 2019), ya que ofrece posibilidades educativas diversas y un inmenso potencial para mejorar el aprendizaje y la enseñanza (Prendes Espinoza, 2014; Almenara, Vázquez-Cano, Meneses y Martínez, 2020), al permitir la generación de contenidos que favorecen el aprendizaje significativo ubicuo y válido a través de la observación, el análisis y la comprensión de temas complejos. Esto coloca a los estudiantes como entes autónomos, activos, creadores y receptores del conocimiento enriquecido (Cabero y Barroso, 2015; del Águila, Ferrero, Costa, Guerra, y Antequera, 2019; Raposo-Rivas, Martínez-Figueira, 2019).

Dentro de las limitantes identificadas para la implementación de RA se encuentran: la novedad está llevando a la falta de reflexión teórica y a la falta de fundamentación de modelos teóricos para su incorporación, también, el número de aplicaciones móviles en temas específicos es limitado, hay dificultad de manejo en contextos específicos, el acceso a internet en las escuelas es lento, la falta de formación entre el profesorado, la generación de expectativas excesivas, la constante obsolescencia de la tecnología que la sustenta y, la falta de estudios que corroboren sus resultados (Cabero, et al., 2019; Observatorio de Innovación Educativa, 2017).

Por otro lado, el BYOT es una de las acciones que se ha dejado de lado en el ámbito educativo (Herrera-Batista, 2009). Se ha perdido de vista que el aumento en el uso de los mismos facilita la propagación de herramientas digitales que pueden apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y que los usuarios, al contar con dispositivos móviles disminuyen el costo de inversión, además de mostrar una actitud positiva hacia el uso de los mismos (Cabero, Barroso y Llorente, 2019). Para tener una idea del área de oportunidad en México, la encuesta ENDUTIH (Inegi, 2020) revela que hay 80.6 millones de usuarios de internet que representan el 70.1% de la población de seis años o más, siendo el grupo de 18 a 24 años el que tiene mayor participación con un 91.2%. Además el 95.3% de los usuarios de internet se conectan a través de un teléfono celular inteligente (Smartphone). Asimismo, de entre 48.3 millones de usuarios, el 66.2% ha instalado aplicaciones. El 76.6% de la población urbana es usuaria de Internet y, en la zona rural, la población usuaria se ubica en 47.7 por ciento.

Establecido lo anterior y, atendiendo tanto a las bondades que parece ofrecer la RA y el BYOT en la educación superior, como a la búsqueda de abordar dos de las limitantes mencionadas: falta de apps en temas específicos y falta de estudios que corroboren sus resultados, es que surge la propuesta de desarrollar una aplicación móvil que implemente RA para la materia de Administración de bases de datos insertada en el plan de estudios de la Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México (TecNM), buscando atender a cuatro temas específicos: migración, réplica, espejeo y monitoreo de las bases de datos. Se eligieron estos tópicos porque en años anteriores se observó que el rendimiento académico en estos temas es bajo en comparación a los otros temas que se abordan en la materia. Asimismo, se espera contribuir con los resultados de este estudio a corroborar o refutar el impacto que este tipo de aplicaciones puede lograr en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una aplicación móvil para el sistema operativo Android que utilice el nivel 1 de la realidad aumentada para determinar la comprensión de los tópicos de migración, réplica, espejeo y monitoreo de una base de datos.

Para el desarrollo de la aplicación se implementó la metodología de desarrollo ágil XP. Asimismo para medir la comprensión de los temas abordados y el logro de un aprendizaje significativo, se llevó a cabo un experimento puro con manipulación de la variable independiente, con un grado de manipulación de presente o ausente de dicha variable (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

La presentación de este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se aborda el marco teórico para contextualizar el proceso de desarrollo de este tipo de aplicaciones; en la sección 3 se muestra el estado del arte respecto al desarrollo de aplicaciones móviles que implementan realidad aumentada con fines educativos, en la sección 4 se aborda la metodología de desarrollo y su aplicación, en la sección 5 se muestra el análisis de los resultados obtenidos. Finalmente, se redactan las conclusiones obtenidas y una visión de los trabajos futuros a realizar.

10.1 Marco teórico

10.2 Realidad aumentada (RA)

La realidad aumentada es una tecnología que presenta diversas características que pueden ser aprovechadas en entornos educativos. Cabrero Almenara y Barroso Osuna, (2016), mencionan que su uso busca enriquecer la realidad física al integrar elementos virtuales bajo un ambiente coherente e interactivo, en el cual es posible interactuar en tiempo real con la realidad, visualizar fenómenos no perceptibles o contrastar un fenómeno u objeto desde diferentes perspectivas, además de que su uso va en aumento apoyado por el acceso a dispositivos móviles inteligentes. Otra ventaja de su utilización es la creación de contenidos para los alumnos, caracterizados por la interactividad y tridimensionalidad (Blas Padilla, Vázquez Cano, Morales Cevallos, & López Meneses, 2019).

La realidad aumentada se puede definir como una combinación visual de elementos reales y virtuales que interactúan entre ellos. Hace uso de un dispositivo, el cual usualmente puede ser una tableta o un Smartphone que permite ver el entorno real a través de la cámara y sobre ella se muestran elementos inexistentes que corresponden al entorno virtual (Navarro & Martínez, 2018).

De acuerdo con (Prendes Espinosa, 2014), la realidad aumentada es aquella que superpone modelos tridimensionales o algún otro tipo de información a una imagen real, sin embargo ésta no reemplaza a la realidad física, sino que complementa al mundo real con la información que le superpone mediante objetos virtuales, permitiendo además la interacción con esos objetos. Esta realidad tiene como características, las que se muestran en la figura 10.

Figura 10.1 Características de la RA



Fuente de consulta: Azuma (1997) citado por Prendes Espinoza, (2014)

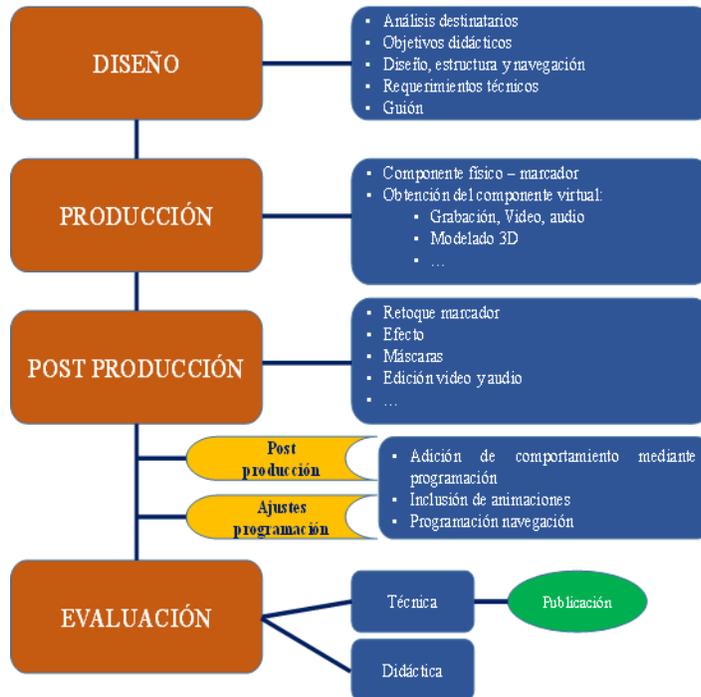
Asociado con lo anterior, diversos autores mencionan que la realidad aumentada tiene diferentes niveles, en (Prendes Espinosa, 2014), se resumen de la siguiente forma:

- Nivel 0 (Hiperenlazado): Este se caracteriza por no tener elementos tridimensionales ni registro de marcadores y, básicamente, se trata de hiperenlaces a otros contenidos. Este nivel hace uso de códigos de barras, códigos QR y reconocimiento de imágenes aleatorias para poder enlazarse.
- Nivel 1 (Basada en marcadores): En este nivel se hace reconocimiento de patrones bidimensionales y de objetos en3D. Los marcadores que utiliza pueden ser imágenes sencillas y asimétricas en blanco y negro. Este es el nivel que en el ámbito educativo se ha utilizado en los últimos años, ya que a partir de una imagen que se reconoce, se visualiza el objeto virtual de estudio.
- Nivel 2 (Sin marcadores): Hace uso del GPS del dispositivo móvil y a partir de la ubicación y orientación se superponen puntos de interés sobre imágenes reales. En este nivel las aplicaciones pueden utilizar el acelerómetro para calcular la inclinación y reaccionar a ella.
- Nivel 3 (Visión aumentada): Esta RA es de tipo inmersivo, ya que hace uso de displays especiales que debe colocarse el usuario, como puede ser el uso de gafas, en lugar de la pantalla del dispositivo móvil.

10.3 Fases de producción de un objeto de aprendizaje en RA

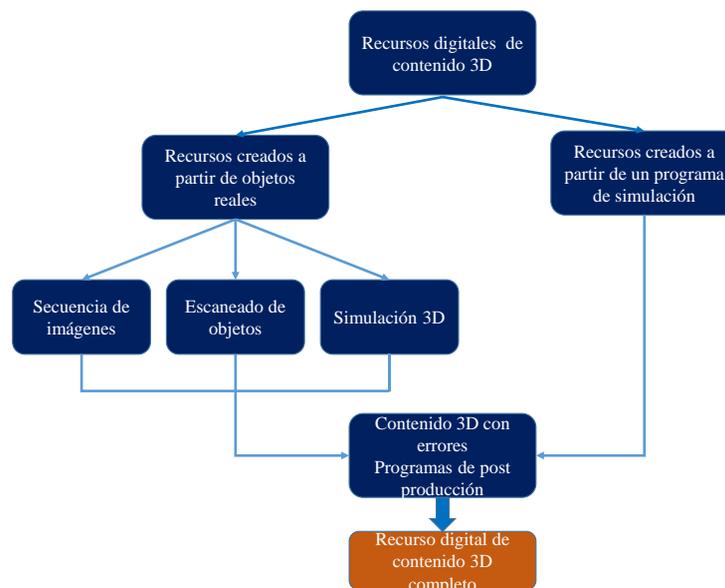
Las fases que incluye son el diseño, producción, post producción, y evaluación. En la figura 2 se muestran las actividades que incluye cada una de ellas.

En la primera fase se realiza la planeación sobre qué se hará con el recurso, con qué medios, de qué objetos constará, qué navegación habrá y, para quién se va a producir. la segunda fase, se plantea cuántas escenas se van a desplegar y qué sucederá con ellas, se determina el número de marcadores y de qué tipo serán necesarios, así como el número y tipo de elementos a mostrar y, finalmente, se determina la ubicación de los elementos: sobre el marcador o sobre el dispositivo.

Figura 10.2 Fases de desarrollo de un objeto en RA

Fuente de consulta: (Barroso, et al., 2014)

Los elementos pueden ser desde videos, infografías, mapas conceptuales, hasta modelado de objetos 3D. Estos objetos 3D siguen el proceso de construcción que se muestra en la figura 3.

Figura 10.3 Construcción de un recurso de contenido 3D

Fuente de consulta: (Barroso, et al., 2014)

En la fase de postproducción, se realizan cambios y mejoras que permitirán que los recursos se puedan captar de manera óptima por el dispositivo, por ello se llevan a cabo retoques a las imágenes, o la reducción de tamaño y formato, o se agregan efectos, o ajustes de programación sobre cómo se comportarán determinados elementos ante la interacción con el usuario.

Finalmente, la fase de evaluación permite una reflexión sobre la calidad del producto, y su correcto funcionamiento técnico. La evaluación, puede ser de tres tipos, atendiendo a aspectos técnicos y, didácticos: por los productores, mediante expertos y, mediante los usuarios potenciales. En la última las preguntas rondan en torno a aspectos como satisfacción, comprensión de la información presentada, facilidad de uso, y desempeño de la aplicación. Si la evaluación técnica es positiva, se procede a su publicación en una plataforma (Barroso, et al., 2014).

10.4 Estado del arte

Siguiendo a Garrigós Simón et al. (2019), se realizó una búsqueda en la base de datos de Google Scholar a través de las palabras clave “Augmented reality”, “mobile application”, education, “meaningful learning”, filtrando a partir del año 2017 con el fin de identificar qué tanto se está abordando el tema en los textos científicos. Se encontró que se han publicado 188 estudios al respecto. Asimismo, se realizó una búsqueda de información utilizando las mismas palabras en idioma español, y el resultado que se obtuvo fue de 284 trabajos reportados. Sin embargo al realizar una búsqueda combinada con las palabras claves usadas anteriormente y las de “gestión de bases de datos” o “administración de bases de datos” o “management of databases” no se obtuvieron resultados.

10.5 Metodología de desarrollo

Para lograr el objetivo planteado para este estudio, primero se llevó a cabo el desarrollo de la aplicación móvil con integración de RA nivel 1 siguiendo la metodología ágil de desarrollo XP. Esta consta de seis fases: exploración, planificación, iteraciones por entrega, producción, mantenimiento y muerte (Beck, 2000). Las fases de producción de recursos en RA nivel 1 y de construcción de recursos 3D, se adaptaron a dichas fases. Posteriormente se puso a disposición de un grupo de estudiantes que cursaban el séptimo semestre de la Ingeniería en Sistemas Computacionales mediante un experimento puro con manipulación de la variable independiente, con un grado de manipulación de presente o ausente de la misma (Hernández et al., 2014).

10.6 Desarrollo de la aplicación móvil que integra RA

Las herramientas de desarrollo y producción de los recursos educativos que se utilizaron fueron Unity versión 2018.3, Vuforia versión 8.3.8, Blender versión 2.79, C# 2014 edition, y la versión en línea de Adobe Photoshop. La fase de exploración se resume en la tabla 10.1.

Tabla 10.1 Resumen de historias de usuario

Número de historia	Descripción
1	La aplicación debe contar con un logo que haga referencia al propósito de la aplicación, también es necesaria una pantalla de inicio en donde se presente información de la aplicación
2	La aplicación deberá contar con un menú sencillo y amigable para las personas que vayan a hacer uso de él, y debe ofrecer opciones que sirvan para facilitar el uso y mejorar la experiencia de la realidad aumentada
3	Los modelos en 3D deben ofrecer una mejor experiencia en el aprendizaje, por lo cual son indispensables para la aplicación.
4	Tanto el material multimedia como las imágenes y videos deberán estar implementadas en la aplicación.
5	Teniendo los modelos 3D y su implementación con la RA, es necesario dotarlos con la capacidad de interactuar con los usuarios que estén haciendo uso de la aplicación

Fuente de consulta: elaboración propia

El plan de entrega se determinó para tres iteraciones. En cada una de ellas se establecieron los indicadores de Prioridad, Riesgo y Esfuerzo. A continuación se muestran los resultados de la cada una de las tres iteraciones.

10.7 Iteración 1

En esta primera iteración se definió el diseño y funcionalidad de cada una de las partes de la aplicación. Las interfaces debían ser sencillas en su diseño, ya que la interacción del usuario y los objetos virtuales, se dará principalmente a través de la interacción física con los marcadores que servirán como medio de visualización del entorno real con los objetos virtuales.

Al iniciar la aplicación, esta deberá tomar el control de la cámara del dispositivo y se verá la imagen obtenida a través de ella. Internamente la aplicación irá escaneando patrones en las imágenes que correspondan a algún marcador definido en la base de datos de marcadores de la aplicación. Los resultados de esta iteración se muestran en las figuras 10.4 a la 10.9.

Figura 10.4 Ícono de la aplicación



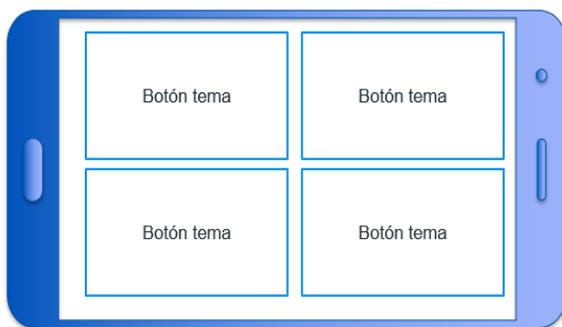
Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.5 Pantalla de inicio



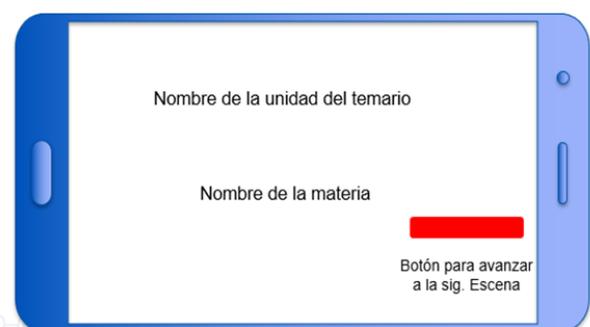
Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.6 Menú de opciones



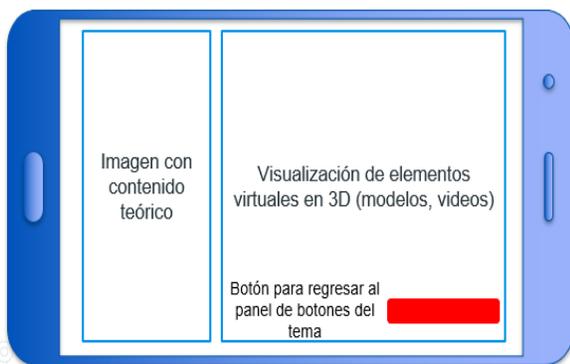
Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.7 Menú principal



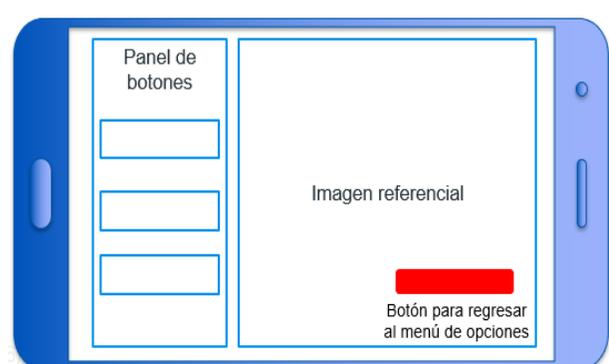
Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.6 Pantalla escenas RA



Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.7 Pantalla menú de contenidos

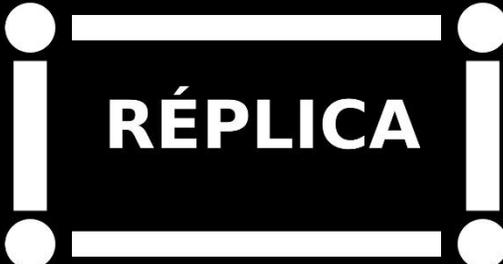


Fuente de consulta: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 10.2 se muestran los marcadores diseñados.

Es importante mencionar que la fase de pruebas de los marcadores se llevó a cabo con el software *Vuforia*. Con él se verificó que los marcadores fuesen de calidad y fáciles de reconocer con la cámara del dispositivo móvil. Para verificarlo, los marcadores fueron sometidos a una calificación basada en estrellas que otorga el software, esto es, si el marcador es calificado con cinco estrellas, entonces la imagen si puede ser utilizada como marcador. Los marcadores obtuvieron esa calificación, y por tanto pudieron ser aprobados para ser utilizados.

Tabla 10.8 Marcadores

Tema	Marcador	Descripción
Migración		Marcador diseñado y utilizado para el tema de migración de una base de datos.
Réplica		Marcador diseñado y utilizado para el tema de replicación de una base de datos.
Espejeo		Marcador diseñado y utilizado para mostrar la definición de lo que espejeo de un SGBD
Monitoreo		Marcador diseñado y utilizado para el tema de monitoreo de una base de datos

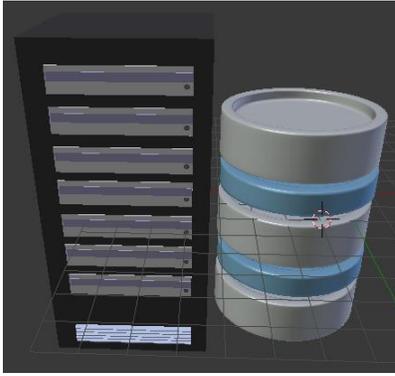
Fuente de consulta: Elaboración propia

10.8 Iteración 2

La aplicación está diseñada para abordar sólo cuatro temas de la unidad 5 del temario de la materia de Administración de Base de Datos. En cada uno de los temas se mostrarán elementos representados en 3D los cuales mostrarán de manera gráfica conceptos o procesos del tema seleccionado. Los elementos en 3D fueron diseñados con el software Blender. Se consideraron modelos principales ya que muestran varios de los escenarios que se desarrollan en los 4 temas. Los resultados de algunos de los modelos se muestran en las figuras 10.10 a la 10.15.

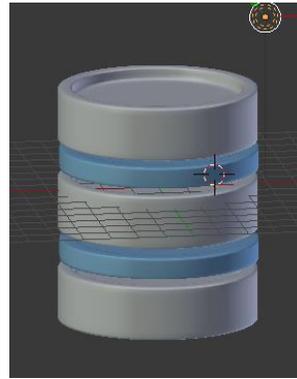
Con los diseños base se crearon 16 escenarios que explican a detalle cada uno de los procesos abordados (migración, réplica, espejeo y monitoreo). En la tabla 10.3 se muestran sólo algunos de ellos. En esta tabla se pueden observar los resultados obtenidos al momento de identificar los marcadores con la cámara. De lado izquierdo se muestra la imagen que contiene la definición del tema y del lado derecho se puede observar de fondo el marcador del tema y por encima de este se muestran los objetos que fueron diseñados en 3D y su comportamiento, es justo ahí donde se aplica la función principal de la Realidad Aumentada que es la de sobreponer un objeto virtual en un ambiente real.

Figura 80.10 Segundo modelo principal y servidor



Fuente de consulta: Elaboración propia

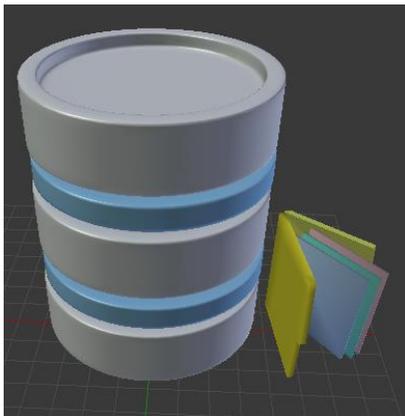
Figura 10.11 Modelo principal



Fuente de consulta: Elaboración propia

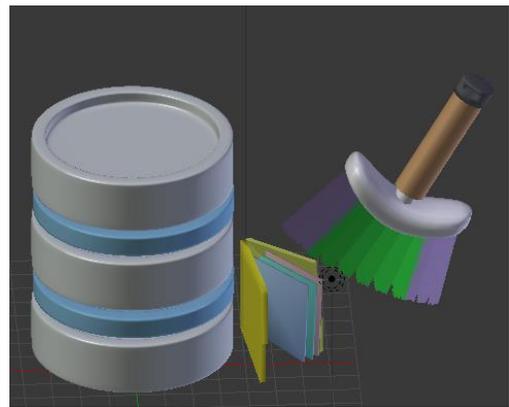
A partir de esos modelos se crearon los secundarios, correspondientes a cada uno de los procesos de los temas seleccionados.

Figura 10.12 BD y Archivo



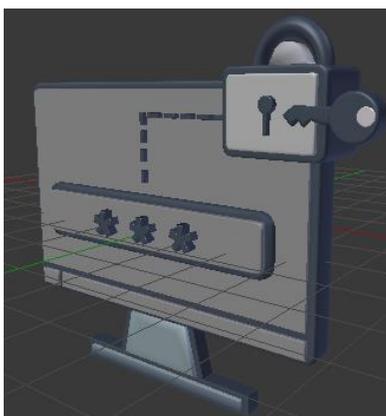
Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.13 Archivo y limpieza



Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.104 Usuarios privilegiados



Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.95 Monitoreo



Fuente de consulta: Elaboración propia

La fase de pruebas se llevó a cabo a través de casos de prueba establecidos de acuerdo a lo que estaba planteado como validación en cada una de las historias de usuario.

10.9 Iteración 3

También se generaron imágenes y videos. Para la visualización de los videos, fue necesario colocar un elemento que provee el programa Unity que es un plano en 3D. A dicho objeto se le agregaron elementos de audio para que el video al momento de reproducirse se escuchara también.

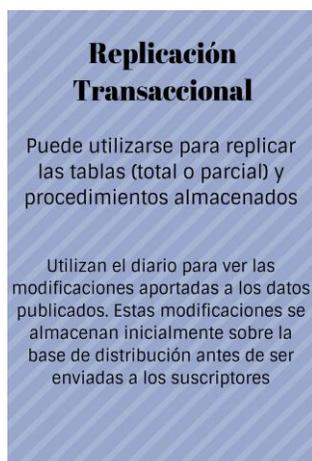
Para los elementos multimedia se crearon imágenes que tienen el contenido teórico del tema seleccionado, como las que se muestran en las figuras 10.16 y 10.17.

Tabla 10.9 Ejemplos de escenarios 3D

<p>Monitoreo de usuarios de aplicaciones</p>	
<p>Ejemplo monitoreo (video)</p>	

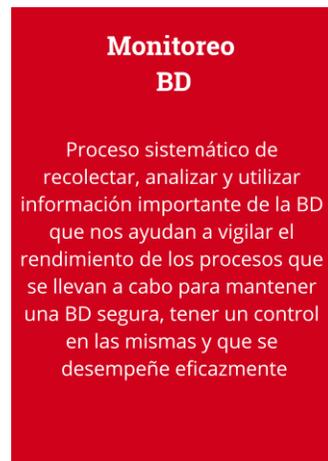
Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.16 Imagen creada para explicar el tópico de replicación



Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.117 Imagen creada para explicar el tópico de monitoreo



Fuente de consulta: Elaboración propia

10.10 Experimento

Para medir la comprensión de los temas abordados y el logro de un aprendizaje significativo, se llevó a cabo el experimento puro con manipulación de la variable independiente con un grado de manipulación de presente o ausente. Para ello se estableció un grupo experimental (usaría la aplicación con RA), y un grupo de control (no usaría la aplicación de RA).

El experimento se aplicó al grupo de séptimo semestre de la Ingeniería en Sistemas computacionales que en ese momento incluía a 20 estudiantes de entre 21 y 23 años que estaban cursando la materia de Administración de Base de Datos. Todos ellos contaban con smartphone, aunque con diversas versiones del sistema operativo Android. La versión mínima incluía un sistema operativo Android 5.1 y 1 Gb de memoria.

Al grupo completo primero se les explicó de manera teórica, en el salón de clases dos temas: monitoreo de bases de datos y, migración de bases de datos. El material incluyó una presentación teórica de los conceptos. Posteriormente, el grupo se subdividió en dos de manera aleatoria, con el fin de que vivieran el proceso de aprendizaje de manera diferente.

A uno de los grupos se les entregó la aplicación, la instalaron en su smartphone y la revisaron. Al segundo grupo, se les pidió ver videos específicos de los temas abordados e indicados por la profesora para así completar la información. Esto debían hacerlo antes de entrar a laboratorio a realizar una práctica. A continuación en la figuras 10.18 y 10.19 se muestra el uso de la aplicación por los estudiantes.

Figura 10.138 Marcador y funcionamiento de la aplicación en RA



Fuente de consulta: Imagen obtenida por el uso de la aplicación móvil

Figura 10.129 Marcador y funcionamiento de la aplicación en RA



Fuente de consulta: Imagen obtenida por el uso de la aplicación móvil

10.11 Análisis de resultados

Durante el proceso de realización de la práctica el docente aplicó una guía de observación a los 20 estudiantes enfocada a cuatro aspectos: interés, reproducción del proceso, tipo de cuestionamientos realizados (duda del proceso, inferencias sobre el resultado obtenido) y, éxito o fracaso en el resultado de la práctica. Los resultados registrados se muestran en la figura 10.18.

Figura 10.19 Resultados sobre la guía de observación



Fuente de consulta: Elaboración propia

Para medir la percepción de los estudiantes por el uso de la aplicación, se aplicó una encuesta en línea, consistente en 12 preguntas con respuestas de opción múltiple en la escala de Likert (Totalmente de acuerdo, hasta totalmente en desacuerdo). Las preguntas se enfocaron a los siguientes aspectos cualitativos: utilidad, autonomía, motivación y, satisfacción con el resultado obtenido, este último aspecto incluía cuestionamientos relativos a la experiencia de usuario. Los resultados se muestran en la figura 10.19 a 10.22.

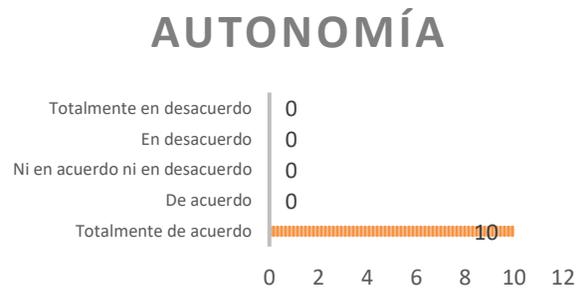
Como puede observarse en las figuras, en el rubro que existe una respuesta unánime es en cuanto a su percepción de autonomía, esto de acuerdo a los planteamientos realizados en la encuesta, se relaciona con disponibilidad de la información y el tiempo en que pueden acceder a ella.

Figura 10.21 Percepción del estudiante en cuanto a su utilidad



Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.22 Percepción del estudiante en cuanto a su autonomía



Fuente de consulta: Elaboración propia

Figura 10.23 Percepción del estudiante respecto a si motiva su proceso de aprendizaje



Fuente de consulta: Elaboración propia

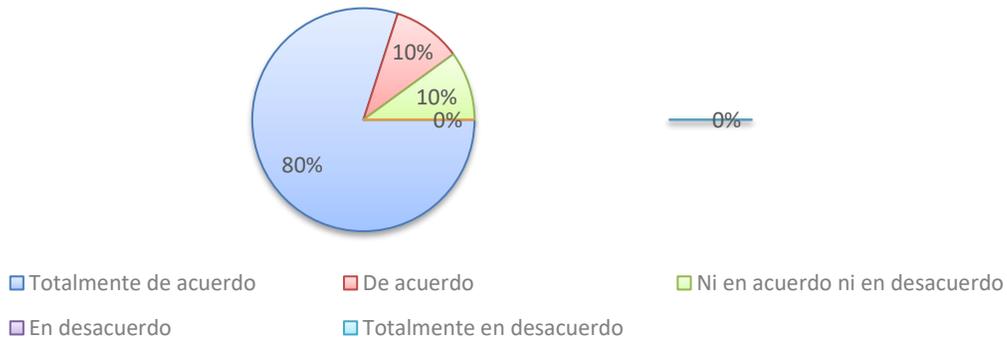
Figura 10.24 Percepción del estudiante en cuanto a su grado de satisfacción por el resultado obtenido



Fuente de consulta: Elaboración propia

En la gráfica 10.23 se muestra el resumen de la percepción de los estudiantes después del uso de la aplicación.

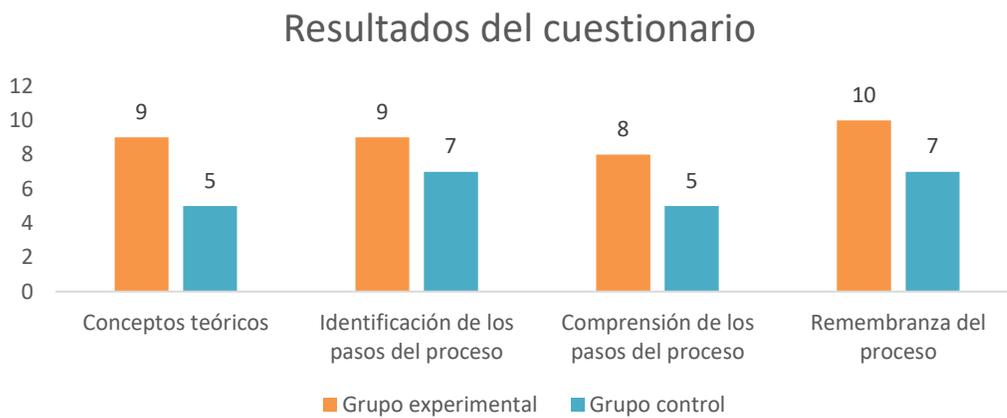
Figura 10.25 Percepción general después del uso de la aplicación



Fuente de consulta: Elaboración propia

Finalmente, para corroborar el aprendizaje obtenido los 20 estudiantes contestaron un cuestionario de conocimientos dividido en cuatro áreas: conceptos, identificación de los pasos del proceso, comprensión de los pasos y, reproducción del proceso, esto con el fin de medir el grado de comprensión de los temas abordados. Los resultados de promedios obtenidos por grupo se muestran en la figura 10.23.

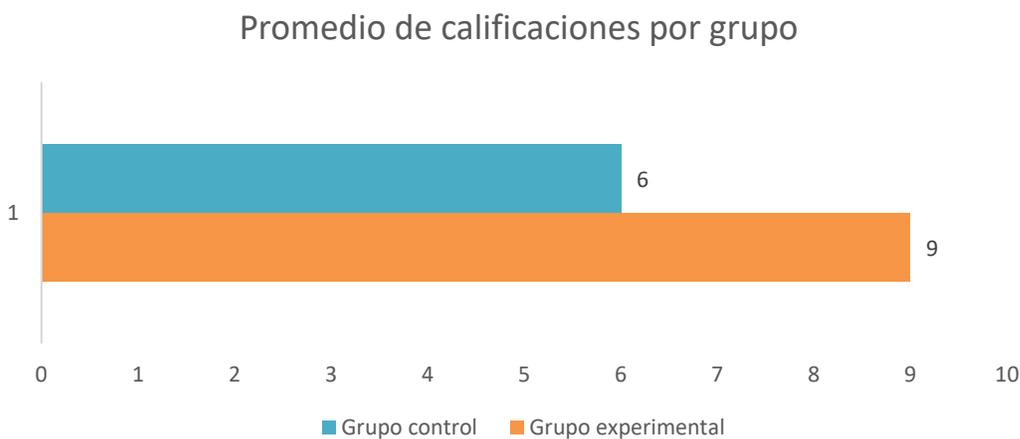
Figura 10.146 Resultados obtenidos después de la aplicación del cuestionario de conocimientos



Fuente de consulta: Elaboración propia

Asimismo, el promedio global obtenido por grupo (experimental y control) se muestra en la figura 24.

Figura 10.157 Promedio general por grupo experimental



Fuente de consulta: Elaboración propia

Como puede observarse, el grupo experimental obtuvo mejores resultados con respecto al grupo control.

10.12 Conclusiones

El objetivo de este estudio fue desarrollar una aplicación móvil para el sistema operativo Android que utilice el nivel 1 de la realidad aumentada para determinar la comprensión de los tópicos de migración, réplica, espejeo y monitoreo de una base de datos. Los resultados obtenidos constatan que el 30% del grupo experimental logró comprender mejor el proceso que el grupo de control, y esto resulta indicativo de que es una estrategia adecuada para reproducir entre las demás asignaturas.

Asimismo, corrobora la experiencia de autonomía del estudiante, de motivación para saber cómo es que sucede el proceso, por lo que le surgen dudas sobre los posibles escenarios que podrían suscitarse, e infiere posibles resultados, esto implica que está obteniendo significado lo que aprende, y que puede realizar interpretaciones ante determinados hechos. Aunque el número de personas al que se aplicó es reducido, sirve para apoyar las afirmaciones hechas por diversos autores al respecto.

También con el desarrollo de la aplicación se aporta al número de aplicaciones desarrolladas para temas específicos con el fin de ampliar el abanico de utilización en diferentes áreas de conocimiento.

Por otro lado, el desarrollo de este proyecto, deja muy en claro que la labor de producción de contenidos con RA requiere del apoyo de un área especializada y dedicada a producir los contenidos con el apoyo de los profesores, y que el hacerlo brindará sin duda, ventajas competitivas a cualquier institución.

La principal restricción que se abordó en este estudio fue el número de personas al que se aplicó, por lo que como trabajos futuros se buscará aplicarlas a otros grupos, así como buscar intercambios con otras instituciones que estén elaborando este tipo de aplicaciones con el fin de corroborar con mayor certeza el resultado positivo derivado de su uso.

10.13 Referencias

- Alexander, B., Ashford-Rowe, K., Barajas-Murph, N., Dobbin, G., Knott, J., McCormack, M. & Weber, N. (2019). *EDUCAUSE Horizon Report 2019 Higher Education Edition* (pp. 3-41). EDU19.
- Almenara, J. C., Vázquez-Cano, E., Meneses, E. L., & Martínez, A. J. (2020). Posibilidades formativas de la tecnología aumentada. Un estudio diacrónico en escenarios universitarios. *Revista complutense de educación*, 31(2), 141-152.
- Astudillo Torres, M. P. (2019). Aplicación de la Realidad Aumentada en las prácticas educativas universitarias. *RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 18(2), 203-218.
- Barroso Osuna, J., & Gallego Pérez, Ó. M. (2016). La realidad aumentada y su aplicación en la educación superior. *Revista Caribeña de Investigación Educativa (RECIE)*, 1(2), 111-124. <https://doi.org/10.32541/salome.2016.v1i2.pp111-124>
- Beck, K. "Extreme Programming Explained. Embrace Change", Pearson Education, 1999. Traducido al español como: "Una explicación de la programación extrema. Aceptar el cambio", Addison Wesley, 2000.
- Blas Padilla, D., Vázquez Cano, E., Morales Cevallos, M., & López Meneses, E. (2019). Uso de apps de realidad aumentada en las aulas universitarias. *Campus Virtuales : Revista Científica Iberoamericana de Tecnología Educativa*, 8(1), 37-48.
- Cabero Almenara, J., & Barroso Osuna, J. (2016). Ecosistema de aprendizaje con «realidad aumentada»: posibilidades educativas. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, 5(5), 141-154.
- Cabero Almenara, J., Barroso, J., & Llorente, C. (2019). La realidad aumentada en la enseñanza universitaria. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 17(1), 105-118.

- Cabero Almenara, J., & Llorente Cejudo, M. D. C. (2019). Evaluación de software de producción de objetos en Realidad Aumentada con fines educativos.
- Castañeda Quintero, L. J., & Adell, J. (2013). Entornos Personales de Aprendizaje: claves para el ecosistema educativo en red. Editorial Marfil.
- del Águila Ríos, Ferreira Capelo M.R.T., Costa Varela, J. M, Guerra Antequera, J., & Antequera Barroso, J. A. (2019). Creatividad y tecnologías emergentes en educación. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*. Revista INFAD de Psicología., 3(1), 527-534.
- Espinosa-Ríos, E. A., González-López, K. D., & Hernández-Ramírez, L. T. (2016). Las prácticas de laboratorio: una estrategia didáctica en la construcción de conocimiento científico escolar. *Entramado*, 12(1), 266-281.
- Fernández, I. M. S., Sánchez, J. L. S., & Calatayud, V. G. (2018). Entornos Personales de Aprendizaje para la comprensión y desarrollo de la Competencia Digital: análisis de los estudiantes universitarios en España. *Educatio Siglo XXI*, 36(2 Jul-Oct), 115-134.
- Fombona Cadavieco, J., & Vázquez-Cano, E. (2017). Posibilidades de utilización de la geolocalización y realidad aumentada en el ámbito educativo. *Educacion XXI*, 20(2), 319–342. <https://doi.org/10.5944/educXX1.10852>
- Garrigós Simón, F. J., Estellés Miguel, S., Lengua Lengua, I., Montesa Andrés, J. O., Oltra Gutierrez, J. V., & Narangajavana Kaosirib, Y. (2019). Tendencias en el Uso de Redes Sociales Para Educación, (November), 923–927. <https://doi.org/10.4995/inn2018.2018.8921>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta ed.). México: McGraw Hill.
- Herrera-Batista, M. (2009). Disponibilidad, uso y apropiación de las tecnologías por estudiantes universitarios en México: perspectivas para una incorporación innovadora. *Revista Iberoamericana de Educación*, 48(6), 1-9.
- Inegi. (2020). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH-2020).
- Moreno Martínez, N., Leiva Olivencia, J., & Matas Terrón, A. (2016). Herramientas de Realidad Aumentada para la Enseñanza Superior en el Área de Medicina. *Hekademos: Revista Educativa Digital*, (21), 19–33.
- Observatorio de Innovación Educativa. (2017). *Edu Trends 2017*. Tecnológico de Monterrey.
- Piedecausa García, B., Pérez Sánchez, J. ., & Mateo Vicente, J. M. (2016). Construcción virtual y realidad aumentada. Aplicación en el Grado de Arquitectura Técnica. En *Investigación, Innovación y Enseñanza Universitaria: Enfoques Pluridisciplinarios*, 263–274.
- Prendes Espinosa, C. (2014). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 46, 187-203.
- Ramírez Otero, J. R., & Solano Galindo, S. (2017). ARprende:Una plataforma para realidad aumentada en Educación Superior. Retrieved from [https://documentos.redclara.net/bitstream/10786/1286/1/126ARprende Una plataforma para realidad aumentada en Educación Superior.pdf](https://documentos.redclara.net/bitstream/10786/1286/1/126ARprende%20Una%20plataforma%20para%20realidad%20aumentada%20en%20Educaci3n%20Superior.pdf)
- Salazar Mesía, N., Sanz, C., & Gorga, G. (2016). Experiencia de enseñanza de Programación con Realidad Aumentada. *Actas de Las XXII JENUI*, 213–220.
- Severin, E. (2013). Enfoques estratégicos sobre las tics en educación en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Unesco.

Tapia Cortés, C., Navarro Rangel, Y., & Tuya, S. (2017). El uso de las TIC en las prácticas académicas de los profesores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. *Revista electrónica de investigación educativa*, 19(3), 115-125.

Vizcaíno, M. F. A., & Campos, J. A. G. (2019). Augmented reality for the learning of phonoaudiology students from University of Playa Ancha. *Revista Cubana de Educacion Medica Superior*, 33(2), 1–16.

Capítulo 11 Evaluación del efecto de la radiación solar sobre la superficie de un sistema fotovoltaico

Chapter 11 Evaluation of the effect of solar radiation on the surface of a photovoltaic system

TELLO-ARGÜELLES, Celeste Estefanía†, ESPINOSA-TRUJILLO, María Jesús* y MEDINA-CARRIL, Diego Manuel.

Universidad Tecnológica Metropolitana, Calle 111 por 46 y 48 No.315, Col. Santa Rosa, C.P. 97279, Mérida, Yucatán, México

ID 1^{er} Autor: *Celeste Estefanía, Tello-Argüelles* / **ORC ID:** 0000-0002-0401-7745, **Researcher ID Thomson:** AAR-3736-2020, **CVU CONACYT ID:** 1017320

ID 1^{er} Coautor: *María Jesús, Espinosa-Trujillo* / **ORC ID:** 0000-0002-2889-4849, **Researcher ID Thomson:** T-3632-2018, **CVU CONACYT ID:** 297283

ID 2^{do} Coautor: *Diego Manuel, Medina-Carril* / **ORC ID:** 0000-0002-9583-6091, **Researcher ID Thomson:** T-5430-2018, **CVU CONACYT ID:** 297033

DOI: 10.35429/H.2020.5.196.209

C. Tello, M. Espinosa y D. Medina

maría.espinosa@utmetropolitana.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, L. Cruz y A. Bautista. (Coord) Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2020.

Resumen

A raíz de un estudio realizado en campo, se observó la disminución en la generación de la energía eléctrica, en una sección del emplazamiento fotovoltaico ubicado en la Escuela Preparatoria Uno de la UADY, el estudio consistió en analizar en horas solares pico la temperatura de la superficie de los módulos fotovoltaicos seleccionados con la finalidad de conocer la afectación que tiene la temperatura sobre la generación de la energía, tomando en consideración la información proporcionada por el fabricante de dichos módulos. El estudio se realizó en el mes de mayo considerado como el de mayor intensidad solar en la ciudad de Mérida, Yucatán. Los datos obtenidos se analizaron mediante herramienta estadística (STATA) y se modeló de acuerdo a una expresión matemática. Como resultado de lo anterior, se demostró que para esta instalación la temperatura disminuye en un porcentaje significativo la producción energética de la instalación fotovoltaica.

Radiación solar, Temperatura, Eficiencia

Abstract

Following a field study, the decrease in electricity generation was observed in a section of the photovoltaic installation located at UADY High School One, the study consisted of analyzing the surface temperature of the selected photovoltaic modules in peak solar hours in order to know the effect that temperature has on the generation of energy, taking into account the information provided by the manufacturer of the modules. The study was carried out in the month of May considered as the one with the highest solar intensity in the city of Merida, Yucatan. The data obtained were analyzed using a statistical tool (STATA) and modeled according to a mathematical expression. As a result, it was shown that for the photovoltaic installation under study, that the temperature decreased energy production by a 15 percent.

Solar radiation effect, temperature, efficiency

11. Introducción

Las condiciones climáticas en el estado de Yucatán son variantes con respecto a otros estados; Mérida, Yucatán puede llegar a temperaturas de 40°C o 41°C en un día común, con un porcentaje de humedad del 60%, es por lo anterior que el cuerpo recibe una sensación de calor y al mismo tiempo transpira, todo esto ligado a su vez con la radiación solar.

El comportamiento de un sistema fotovoltaico en estas condiciones es único debido a que existen factores como altos niveles de humedad, así como altos niveles de radiación y por lo consiguiente de temperatura la cual tiene un efecto interesante en el comportamiento de los módulos fotovoltaicos.

En su artículo Cepeda (2017) analiza los aspectos que afectan las instalaciones y menciona que *“La eficiencia y potencia entregada por un panel fotovoltaico son condiciones que se ven afectadas, principalmente por aspectos ambientales y tecnologías utilizadas en su proceso de fabricación”* al cambiar las condiciones ambientales genera variaciones en la producción.

El presente documento se enfoca en el estudio de la temperatura de una sección de módulos mediante su caracterización, descripción de los componentes y factores que tienen relación con el aumento de la temperatura en la instalación, como la radiación, nubosidad y corrientes de viento. Asimismo, se pretende hallar la relación de la causa de recalentamiento y cómo influye el entorno en el sistema fotovoltaico.

Para caracterizar el proyecto se necesitaron instrumentos de medición como Termoanemómetro, Termolaser infrarrojo y Registradores de datos marca Hobo, así mismo uso de softwares como Sunearthtools.com, para conocimiento de rayos solares y sombras de un edificio, Solargis.com, para datos de radiación en la zona y Windfinder para velocidad y dirección del viento.

El estudio realizado tiene el objetivo de examinar el comportamiento de una instalación ubicada en un lugar en Mérida, Yucatán y en un periodo de tiempo definido, para servir de referencia en futuras investigaciones.

A continuación, se presentará la descripción de los factores que afectan a una instalación fotovoltaica y la metodología que se siguió para llevar a cabo esta investigación.

11.1 Marco teórico

En la vida cotidiana los seres humanos no pueden evitar el uso de la energía eléctrica, ya que se ha vuelto indispensable en actividades como cocina, transporte, vestimenta, entre otros aspectos de uso común.

La electricidad forma parte de nuestros días casi como respirar.

En su artículo, Mendieta (2017) menciona como la energía eléctrica influye en el ser humano: *“En definitiva, la disponibilidad de energía eléctrica provoca cambios en las formas de vida y conduce a la mejora de las condiciones de salud y educación de la población rural”*.

Con lo anterior se entiende que la sociedad se ha acostumbrado a emplear este recurso en cualquier actividad, uno de los aspectos que se observa continuamente es el uso de los combustibles fósiles como el petróleo, este tipo de producción de energía no es la adecuada por el alto nivel de contaminantes que emite al momento de ser quemado para su transformación.

Lo anterior abre paso a la consideración del uso de energías renovables, en 2020, Terol menciona lo siguiente:

En la esfera de ciudad, los consumos de combustibles fósiles son directamente en forma de gasolina o diésel para los transportes [...], la gran alternativa de este siglo a los combustibles fósiles son las energías renovables, las cuales aprovechan flujos de la propia biosfera y por tanto se considera que son recursos ilimitados.

Como sabemos se han descubierto energías alternativas, tales como la energía solar, geotérmica, eólica, marítima y la nuclear.

Actualmente la sociedad se ha interesado por la energía fotovoltaica y eólica; los comercios, industrias y residencias han instalado sistemas fotovoltaicos, esto debido a las dimensiones necesarias para su instalación, así como su rentabilidad. En cambio, un generador eólico demanda de más espacio para su instalación, por lo cual el costo aumenta y se vuelve menos viable para una residencia o comercio. En 2020, en su artículo Caicedo menciona que:

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituyen, frente a los combustibles fósiles un mejoramiento que se evidencia en que contribuyen al autoabastecimiento energético nacional y por lo tanto social, con un impacto comparativamente mucho menor que las fuentes convencionales de energía.

Haciendo de esta una alternativa de energía que no representa un impacto tan grande en la huella de carbono.

En 2019, Barragán realizó un estudio en el que se tomaban en cuenta ciertos aspectos para la determinación de uso de tecnología en un proyecto rural *“los resultados señalan que en los tres enfoques la energía solar fotovoltaica y solar térmica tendrá más incidencia y aptitud en la escala urbana (posición 1 y 2 respectivamente), mientras que la energía mareomotriz es la menos apta (posición 11)”*.

También menciona que *“Al evaluar los factores que influirían en la promoción de las tecnologías, se advierte que los encuestados consideran los costos como el factor más influyente, seguido de la madurez de la tecnología y la existencia de leyes y regulaciones”*.

Con lo anterior se puede observar que dependiendo de cada territorio existen ciertas características que determinan la mejor opción de tecnología en energías renovables que se va a instalar, cabe recalcar que para realizar la encuesta del artículo anteriormente citado, se tomaron en cuenta aspectos como la radiación solar ya que esta varía dependiendo de la posición de los lugares distribuidos sobre la superficie del planeta. La cantidad de radiación en Mérida, Yucatán no es la misma que en la ciudad de México, debido a la nubosidad y su ubicación geográfica.

11.2 Celdas solares

Los módulos fotovoltaicos son los que hacen posible la generación de energía, pero ¿Cómo están compuestos? ¿Qué componentes hacen posible que generen electricidad?

Solar (2020) define lo que es un módulo fotovoltaico:

Una célula solar fotovoltaica está constituida por un disco Monocristalino de silicio, dopado en su superficie superior (expuesta al Sol) [...] 36 células interconectadas y montadas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie constituyen lo que se denomina un módulo fotovoltaico. (mjesus@hotmail.com)

Con lo anterior se entiende la estructura interna de un módulo fotovoltaico y cómo viaja la energía a través de él hasta una carga. En cuanto a cómo hacen posible las celdas fotovoltaicas la generación de energía. Solar define la celda fotovoltaica de la siguiente manera:

Una célula solar fotovoltaica está constituida por un disco Monocristalino de silicio, dopado en su superficie superior (expuesta al Sol) hasta hacerla de tipo n en un espesor de 0,6 mm, mientras que su parte inferior se deja de tipo p, con un espesor de hasta 0,4 mm. Así se produce una unión p-n paralela a la superficie iluminada de la célula. (mjesus@hotmail.com)

Con lo anterior inferimos que las celdas fotovoltaicas son el componente base para la transformación de energía lumínica a energía eléctrica, que constituyen los componentes principales de un módulo fotovoltaico.

11.3 Radiación Solar

La radiación solar es la base de la generación eléctrica a partir de un módulo fotovoltaico, esto a su vez efectuado por una reacción química con el material semiconductor del que están hechas las celdas fotovoltaicas.

En 2020, en su artículo Guinand afirma que *“la radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta)”*

Tomando como base lo que afirma esta autora, entendemos que la radiación es la cantidad de rayos solares que inciden en un área limitada, en el caso de los módulos fotovoltaicos, al ser una superficie plana este permite la incidencia de los rayos de mejor forma. Con lo anterior hay que tener cuidado, ya que no por ser una superficie plana podrá aprovechar de manera correcta los rayos de sol que inciden en él, en la sección de Componentes geográficos de una instalación se explicará más a detalle los aspectos que pueden causar un mal aprovechamiento de la radiación solar.

Conocer el territorio geográfico y factores ambientales como radiación, nubosidad y lluvias es impensable en el ámbito de las energías renovables, específicamente en la energía solar fotovoltaica. Para el diseño de una instalación fotovoltaica, en su artículo Trejos establece que *“Las diferentes condiciones ambientales de radiación, velocidad de viento, temperatura, lluvia, polvo, entre otros, a los que los paneles están expuestos afectan su producción energética”* (2020).

Los aspectos a evaluar como inclinación de los módulos, antes de llevar a obra una instalación fotovoltaica se deben estudiar detenidamente para que no existan fallos de ningún tipo, para poder tener el mayor aprovechamiento del recurso que proporciona el Sol.

11.4 Efecto fotovoltaico

La sociedad ha observado el uso y los beneficios de las energías alternativas específicamente en la energía solar fotovoltaica, porque además de generar un beneficio económico también contribuye al cuidado del medio ambiente. La energía fotovoltaica es posible por la existencia de los fotones, como su nombre lo dice, estos a su vez provienen del sol que es la fuente de energía más grande del mundo.

¿Cómo ocurre la producción de electricidad a partir de los rayos solares?, esta es una pregunta que muchas personas se hacen a menudo. El sol emite energía, misma que llega a la tierra como fotones los cuales son captados por las celdas solares de un módulo fotovoltaico, que por medio de un material semiconductor rompen la barrera prohibida y permite el paso de corriente a través del circuito.

En 2020, Flores establece que el efecto fotovoltaico “*se produce en algunos elementos químicos (silicio, germanio, etc.) es la capacidad de absorber fotones (partículas de luz) y liberar a continuación una corriente continua de electrones*” (Pag. 29).

Con base a lo presentado anteriormente se puede discernir la forma en la que ocurre el efecto fotovoltaico, por lo tanto, se puede afirmar que los fotones que son absorbidos por la celda, son los que realmente producen la energía eléctrica. Componentes en el armado de una instalación fotovoltaica interconectada a la red. En el caso de este proyecto la instalación era interconectada a la red por lo tanto sus componentes son únicamente los módulos fotovoltaicos, los inversores, dos cajas combinadoras, un tablero de distribución y un medidor bidireccional. En la Especificación CFE G0100-04 se establece que los componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a la red deben ser los siguientes: “*Generadores fotovoltaicos, subsistema de acontecimiento de potencia, interfaz a la red, carga local y Punto de interconexión*”.

Como ya se había mencionado anteriormente una instalación fotovoltaica interconectada a la red está constituida por un inversor, módulos fotovoltaicos, cajas combinadoras, medidor bidireccional y tableros de distribución.

Flores también menciona que un sistema fotovoltaico interconectado a la red consta principalmente de los siguientes componentes:

- 1) Arreglos de módulos fotovoltaicos.
- 2) Estructura de soporte y cimientos del arreglo.
- 3) Reguladores de voltaje y otros controles, típicamente un controlador de carga de batería, un inversor de corriente CD/CA o un rectificador CA/CD.
- 4) Baterías de almacenamiento eléctrico y recinto para ellas.
- 5) Instrumentos.
- 6) Cables e interruptores.
- 7) Red eléctrica circundante.
- 8) Cercado de seguridad, sin incluir las cargas eléctricas. (*mjesus@hotmail.com*)

El generador fotovoltaico es lo que anteriormente se menciona como captador solar, el subsistema de acondicionamiento de potencia se menciona como inversor, Interfaz con la red es lo que se menciona como medidor, en este caso bidireccional y la red eléctrica es la conexión a CFE.

11.5 Desarrollo de la investigación

11.6 Problemática

La capacidad instalada de emplazamiento fotovoltaico en el edificio de la Biblioteca en la escuela Preparatoria Uno es de 10 kW, sin embargo, lo generado bajo condiciones de campo eran únicamente 8 kW, es por ello que se realizó un estudio de campo para corroborar si la disminución de la eficiencia energética de la instalación era por el incremento de temperatura, ya que se había realizado una revisión de todos los aspectos que podrían provocar este comportamiento y se encontraban en buenas condiciones.

11.7 Hipótesis

El comportamiento de los módulos fotovoltaicos analizados presenta variaciones de temperatura entre sí.

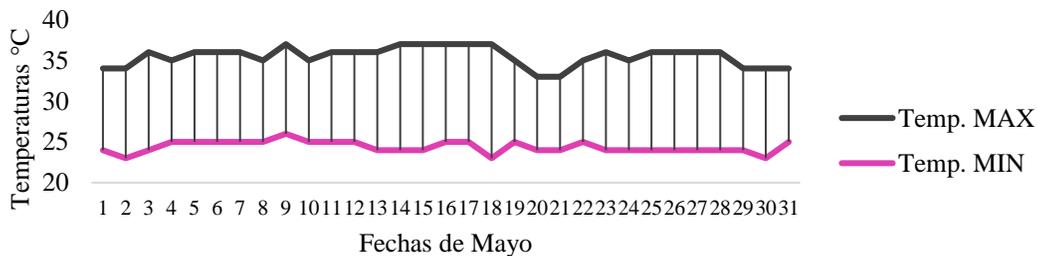
La temperatura disminuye la eficiencia de los módulos fotovoltaicos en más del 10%.

11.8 Proyecto

El proyecto de investigación permitirá conocer el efecto de la temperatura en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, haciendo un estudio de campo para obtener datos reales y específicos de temperatura y velocidad del viento que permitirán demostrar el comportamiento en las diferentes condiciones climáticas que prevalecen en el sitio de la instalación. Cuando se realiza una instalación fotovoltaica es necesario dimensionarla atendiendo dos principios fundamentales: la demanda de energía (kW) y la potencia a instalar (Wp), pero para ello se deben tomar en cuenta otros aspectos, entre ellos las condiciones climáticas que prevalecen en el lugar de la instalación. Una de las principales problemáticas que se registran en los sistemas fotovoltaicos es la disminución de su eficiencia causada por la temperatura del módulo.

En la ciudad de Mérida, Yucatán históricamente se tiene registro de que los veranos son cortos, opresivos y parcialmente nublados y los inviernos son calientes, bochornosos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 18 °C a 36 °C y rara vez baja a menos de 14 °C o sube a más de 39 °C, con base a dicha información podemos inferir que la temperatura en la superficie de los módulos fotovoltaicos instalados en esta zona podría llegar a temperaturas por encima del dato histórico (Gráfica 11.1).

Gráfico 11.1 Temperaturas registradas en el mes de Mayo



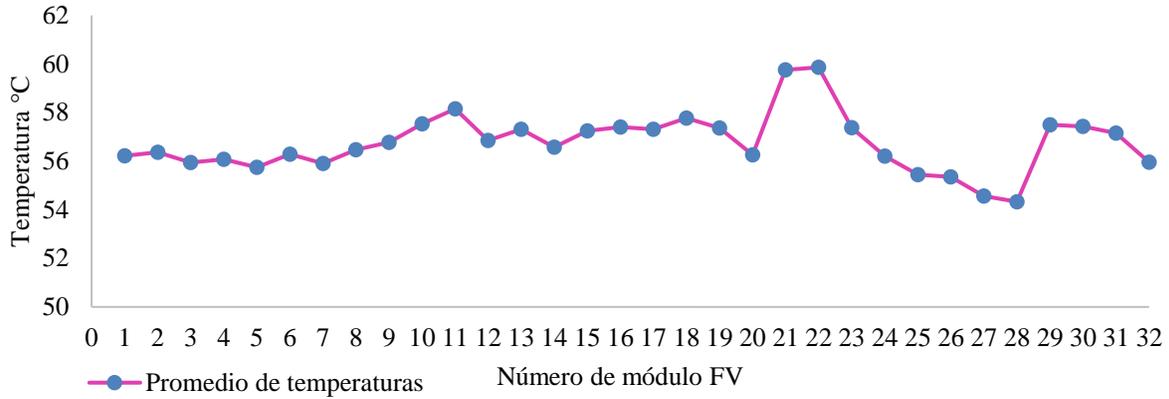
Fuente: Weather Spark.

Tabla 11.1 Temperatura de módulos fotovoltaicos generada (14:00 hrs)

Módulo	Promedio de temperaturas						
1	56.22	9	56.77	17	57.31	25	55.45
2	56.36	10	57.53	18	57.77	26	55.35
3	55.94	11	58.15	19	57.37	27	54.56
4	56.07	12	56.85	20	56.26	28	54.33
5	55.75	13	57.31	21	59.76	29	57.50
6	56.28	14	56.58	22	59.86	30	57.43
7	55.90	15	57.25	23	57.38	31	57.15
8	56.47	16	57.40	24	56.21	32	55.96

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11.2 Temperatura de módulos fotovoltaicos generada (14:00 hrs)



Fuente: Elaboración propia

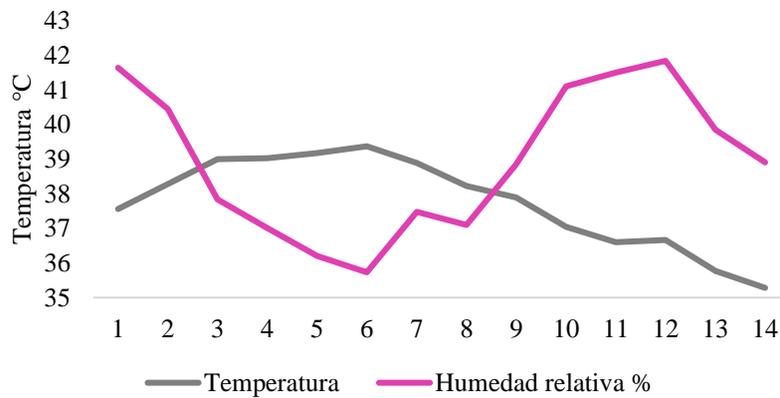
Como se observa en la gráfica anterior las temperaturas registradas en la superficie de los módulos fotovoltaicos a las 14:00 hrs oscilan entre los 54°C Y los 60°C.

Tabla 11.2 Temperatura ambiente registrada (20/Mayo/2019)

Temperatura	Humedad relativa %	Temperatura	Humedad relativa %
37.56	41.634	38.22	37.1
38.28	40.45	37.89	38.85
39	37.834	37.04	41.1
39.03	37.01	36.6	41.5
39.17	36.2	36.66	41.84
39.37	35.73	35.77	39.85
38.89	37.48	35.28	38.91

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11.3 Temperatura ambiente registrada



Fuente: Elaboración propia

11.9 Ubicación geográfica del edificio

El estudio se efectuó en las instalaciones del centro educativo Escuela Preparatoria Uno de la Universidad Autónoma de Yucatán ubicado en la calle 41 s/n, Col. Cd. Industrial, Mérida, Yucatán. Este centro educativo cuenta con una instalación fotovoltaica que fue dimensionado para producir 10 kW en potencia máxima, disminuyendo así un 60% del consumo del edificio en el que está instalado.

El edificio en el que se realizó el análisis de campo tiene una latitud de 20.9777° y una longitud de -89.5990°, la trayectoria del viento indica que las corrientes llegan al edificio desde el sureste, con corrientes de hasta 10m/s.

11.10 Metodología

Para llevar a cabo el estudio de la situación antes mencionada se realizaron las siguientes actividades:

- Selección de grupo de módulos fotovoltaicos con los que se realizará el estudio.
- Caracterización de la superficie de los módulos fotovoltaicos.
- Medición de temperatura en la superficie de los módulos fotovoltaicos
- Análisis de producción
- Análisis de datos obtenidos.

Para la obtención de datos reales se realizó un estudio de campo con el objetivo de examinar las temperaturas reales a las que llegaban los módulos fotovoltaicos mencionados anteriormente, seguido a esto se propuso una hipótesis que llevaría un proceso de estudio para saber si esta se acepta o se rechaza. Se presenta un análisis de la afectación del viento en la temperatura de los módulos.

Finalmente se presenta la observación del fenómeno causado por la radiación solar en los módulos fotovoltaicos, así como una propuesta de posible solución a la problemática encontrada.

11.11 Selección de grupo de módulos fotovoltaicos con los que se realizará el estudio

Para este proyecto fue necesario el uso de una instalación fotovoltaica que esté en uso debido a que se necesitaba corroborar que no existieran fallos en el sistema y ningún otro tipo de riesgo que estuviera generando variaciones en la producción, hay que recordar que durante la generación de electricidad con paneles fotovoltaicos no hay emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂), por lo que este tipo de energía es respetuosa con el medio ambiente y actualmente es la más instalada en el sector de Mérida.

Al iniciar el proceso de selección, se analizó cuál de los edificios en el interior de la Escuela Preparatoria Uno de la UADY podría aportar mayor confiabilidad a la investigación, se utilizó el criterio de seguridad y una altura que no representara un riesgo mayor, además de aspectos que no presentara sombreado y finalmente se decidió que el lugar en el cual se llevaría a cabo el proyecto era el edificio de Biblioteca (Figura 11.1). Esta instalación fotovoltaica es la que no ha presentado ningún tipo de falla, ni ha disminuido su producción desde el momento en el que se instaló, en los emplazamientos ubicados en los edificios de aulas, usualmente presentan condiciones que podrían poner en duda los resultados de la investigación, actualmente la instalación ayuda al ahorro del 80% de la energía consumida en la biblioteca.

Figura 11.1 Edificio seleccionado para el estudio



Fuente: Elaboración propia

Los módulos fotovoltaicos utilizados en esta instalación fueron de marca Sunwalt bifacial Monocrystalino de 315 W. El edificio en el que se realizaron las mediciones cuenta con 4 arreglos fotovoltaicos de 16 módulos cada uno, haciendo un total de 64 módulos. Estos conectados en series de 32 módulos que se dirigen a 2 inversores FRONIUS sin transformador (Figura 11.2).

Figura 11.2 Inversores Fronius utilizados en la instalación



Fuente: Elaboración propia

11.12 Caracterización de módulos fotovoltaicos

Para tener una mayor certeza del estudio realizado se debía tener la mayor cantidad de muestras posibles, considerando lo anterior se decidió caracterizar los módulos fotovoltaicos de tal forma que se tomaron 12 mediciones a cada módulo, colocando los puntos de muestreo de manera simétrica para tener la caracterización del módulo completo, de esta manera se pudo obtener el promedio de la temperatura del módulo por día.

La idea de caracterizar un objeto, cuando se realiza algún estudio, es para modelar las condiciones que prevalecen en el equipo o su alrededor, esto a su vez da la pauta de estar midiendo la estructura completa del módulo, así cuantas más mediciones mayor certeza tendrá el resultado o el estudio. Al registrar la temperatura en un solo punto tienes mayor rango de incertidumbre ya que no se puede asegurar que la medición se tome siempre en el mismo punto, obteniendo un promedio de temperaturas aceptable para el estudio. Los datos se tomaron de esa manera debido a dos aspectos, tener mayor cantidad de muestras de temperatura de la superficie de los módulos fotovoltaicos y para poder cumplir los supuestos de la prueba estadística T de Student, los cuales se muestran a continuación:

1. Muestra aleatoria
2. Independencia de observaciones.
3. Distribución normal o $n > 30$ en cada uno
4. Varianzas iguales.

Tomando las 12 mediciones por módulo fotovoltaico se obtenía un promedio, cada cadena contenía 32 módulos por lo que se cumplen los supuestos 1, 2 y 3, en el apartado de análisis datos se muestra más a detalle esta parte.

11.13 Medición de temperatura

Los equipos utilizados para la medición de temperatura fueron dos Termolaser 568 IR marca FLUKE de medición puntual con 1% o 1°C de incertidumbre, un registrador de datos marca HOBO y un Termoanemómetro CFM master II digital con 1% o 1 m/s de diferencia (Figura 11.3).

Figura 11.3 Equipos utilizados para mediciones

Fuente: Elaboración propia

El equipo de medición FLUKE Termolaser fue calibrado con ayuda de un termómetro patrón que fue tomado como referencia para verificar la certeza de los datos a meCoord

Las mediciones se realizaron en intervalos de tiempo definidos siendo estas mediciones cada hora, justo el tiempo para medir los 64 módulos, por la cantidad de módulos fotovoltaicos y el periodo de tiempo para tomar las mediciones se utilizaron dos Termolaser y las mediciones fueron tomadas simultáneamente a cada cadena.

Las mediciones efectuadas se realizaron en dos semanas diferentes.

La primera semana se realizó una medición de 12 horas, de 7:00 am a 7:00 pm, en toda la instalación del edificio de Biblioteca de la Escuela Preparatoria Uno; al realizar esta medición se tomaron muestras de las dos cadenas de manera simultánea con dos equipos de Termolaser FLUKE.

En la segunda semana las mediciones fueron tomadas de la misma forma por toda una semana completa, solo que en este caso tomando en cuenta solo las horas solares pico, las mediciones fueron efectuadas de 10:00 am a 2:00 pm.

11.14 Análisis de producción energética

Se analizó el comportamiento de la producción energética y su disminución con respecto a la temperatura. Se tomó en consideración la siguiente fórmula utilizada por Mattei *et.al* en 2006:

$$\eta = \eta_r [1 - \beta(T_c - T_r) + \gamma \text{Log} \phi_r] \quad (1)$$

Donde:

η = eficiencia real del módulo fotovoltaico.

η_r = es el valor de referencia de la eficiencia del módulo a una temperatura de 25°C.

β = Constante para el silicio. (.0044°C)

γ = Constante para el silicio. (0)

T_c = Temperatura de la celda.

T_r = Temperatura de placa. (25°C)

Φ_r = Irradiación (1000 W/m²)

Basándose de la formula anterior se adaptó a los datos de medición, con lo cual se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$K_T = 1 + \frac{C_T(T_{celdas} - 25^\circ C)}{100} \tag{2}$$

Donde:

K_T : Porcentaje de potencia que entrega el módulo.

C_T : Coeficiente de temperatura del módulo fotovoltaico.

T_{celdas} : Temperatura de las celdas.

Aplicando esta fórmula, tomando en cuenta la muestra de datos en hora pico, la máxima producción de la instalación es de 10kW por lo que se busca comprender la causa de que la producción sea solo de 8kW al día, se llegó a lo siguiente:

$$K_T = 1 + \frac{C_T(T_{celdas} - 25^\circ C)}{100}$$

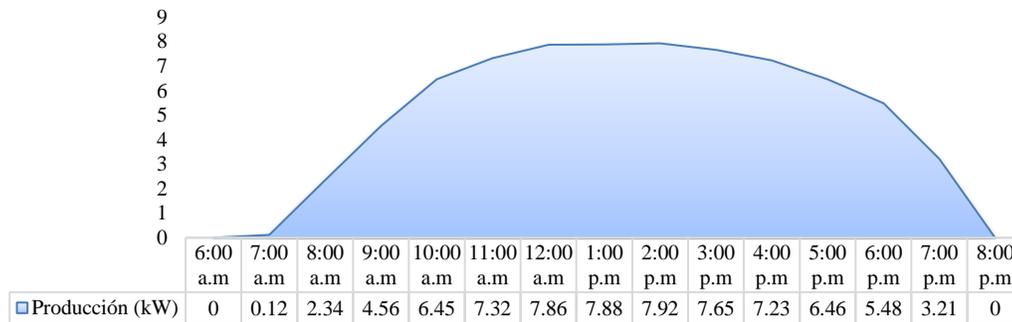
$$K_T = 1 + \frac{-0.40 (61^\circ C - 25^\circ C)}{100}$$

$$K_T = 1 - 0.1144$$

$$K_T = .856$$

Lo cual significa que el módulo solo entregará el 85.6% de su potencia pico a esa temperatura. Este porcentaje de pérdidas puede variar con respecto a la temperatura a la que se encuentre el modulo fotovoltaico. Por lo tanto, se estima que en el caso de un día soleado se presenta un porcentaje de pérdidas en la producción del 15 %. En la Gráfica 11.4 se muestra el comportamiento característico de producción en un día soleado:

Gráfico 11.4 Producción del sistema en un día soleado

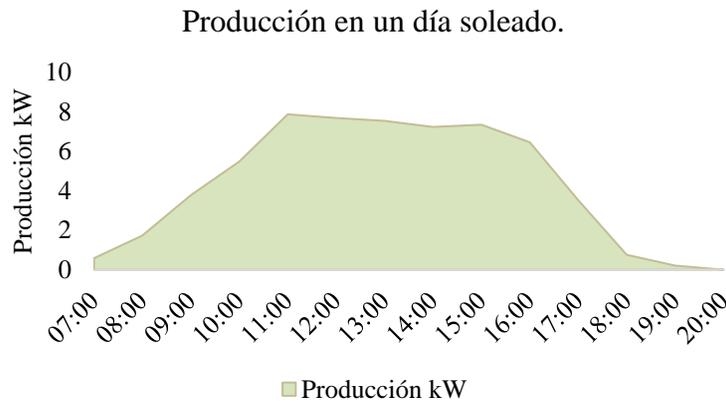


Fuente: Elaboración propia

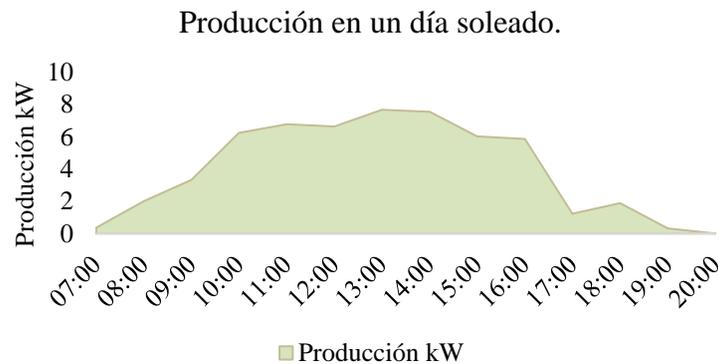
En la Gráfica anterior se muestra una producción de un día soleado, que no sobrepasa los 8 kW de producción, cabe recalcar que la instalación fotovoltaica fue dimensionada para generar 10 kW.

Los 0.56 kW restantes obtenidos en la formula aplicada anteriormente, son pérdidas por factores diferentes al aumento en la temperatura del emplazamiento, factores como: suciedad, inclinación, orientación, que, al ser estudiados en publicaciones de otros autores, no representan grandes pérdidas.

En 2017 Díaz establece que “El ángulo óptimo de un sistema fotovoltaico debe coincidir con la latitud del lugar” (pag. 106), lo anterior considerando los cambios de inclinación del sol durante los meses del año.

Gráfico 11.5 Producción de instalación en un día soleado

Fuente: Elaboración propia con el software Fronius Web

Gráfico 11.6 Producción de instalación en un día con nubosidad media

Fuente: Elaboración propia con el software Fronius Web

Observando las gráficas anteriores, se infiere que la nubosidad, así como la temperatura afecta directamente a la producción de energía eléctrica de la instalación fotovoltaica de estudio. De igual forma se observa que al permanecer la nubosidad por mucho tiempo afecta en la producción, haciendo que se produzcan 3 kW menos de lo que debería producirse. Cabe recalcar que los datos obtenidos se dieron en un periodo de días soleados y con una ligera de nubosidad, es por ello que se muestra la producción representativa de esos dos días.

11.16 conclusiones y recomendaciones

Con este estudio se analizaron los componentes que pueden afectar a la instalación fotovoltaica, considerando principalmente el factor de la temperatura.

Se analizaron los datos obtenidos con una corrida estadística aplicando T de Student, esto para comprobar o desaprobar la hipótesis de que el comportamiento de los módulos fotovoltaicos analizados presenta variaciones de temperatura entre sí. Al haberse tomado 32 muestras se permite el uso de esta prueba estadística para evaluar la hipótesis presentada.

Se observó que en la potencia instalada era de 10 kW y la producción de energía en la Escuela Preparatoria Uno, no sobrepasaba los 8 kW, con los resultados obtenidos mediante la investigación se estima que el 85% de la potencia instalada es lo que se está generando. En el caso del día soleado, se presenta un porcentaje de pérdidas en la producción del 15% de la misma potencia instalada por el factor temperatura.

Como se observa en las gráficas analizando las dos posibles situaciones, soleado y medio nublado, en un día soleado, el paso de una nube por encima de la ubicación de la instalación puede disminuir su producción de 7.85 kW hasta 4.5 kW. En un día medio nublado se muestran variaciones en la producción pero que a su vez no afecta en gran medida el rendimiento de la instalación.

Relacionando el comportamiento de la temperatura en instalación fotovoltaica y el enfriamiento por las corrientes de viento se podría establecer un mecanismo de enfriamiento a módulos fotovoltaicos que favorecería a la producción de energía eléctrica de la misma, utilizando el sistema de barrido de calor por convección.

11.17 Referencias

- Cepeda, J. (2017) Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus posibles soluciones. Bogotá, Colombia.
- Mendieta Vicuña, D.; Escribano, J.; Esparcia, J. (2017). Electrificación, desarrollo rural y buen vivir. Cuadernos Geográficos 56(2), 306-327
- Terol Calvo, S. (2020). El acceso a la energía distribuida en conjuntos residenciales. Evaluación de sistemas fotovoltaicos comunitarios en la Villa Olímpica (Doctoral dissertation).
- Caicedo Vargas, J. S. (2020). Evaluación técnico ambiental para la implementación del sistema fotovoltaico para la iluminación de la vía nacional que cruza la ciudad de Sogamoso (Boyacá).
- BARRAGÁN-ESCANDÓN, E. A., et al. (2019). “Las energías renovables a escala urbana. Aspectos determinantes y selección tecnológica”. Bitácora Urbano Territorial, 29 (2): 39-48.
- Solar, E. (2020). Energía Solar. Acceso em, 15(03).
- Guinand Rodríguez, K. J., & Quintero Santana, S. (2020). Protocolo y procedimiento aplicado a instrumentación piranómetro para medición de radiación solar. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/776
- Trejos, L.A (2020). Análisis del comportamiento de arreglos fotovoltaicos con degradación operando bajo condiciones de sombreado parcial. Publicación semestral de carácter técnico-científico / Universidad EIA, Envigado (Colombia).
- Flores Azcanio, L. N. (2020). Evaluación técnica para el uso de energía fotovoltaica en la extracción de agua subterránea en la Ciudad de México (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.)
- Díaz Santos, Raynel & Castro Fernández, Miguel & Santos Fuentefria, Ariel. (2017). Influencia del ángulo de inclinación de los módulos solares en la generación de electricidad de una central fotovoltaica. Especificación CFE G0100-04 Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.
- Fronius (2019) Solarweb. Fronius, Yucatán, México: Solarweb: Recuperado de: <https://www.solarweb.com/Chart/Chart?pvSystemId=a3e82262-c9d2-4474-a9ee-d2daea38416d>
- Solargis (2019) Solar resource maps of Mexico. Mexico, Mexico City: Solargis. Recuperado de: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/mexico>
- Weatherspark (2019) Temperatura promedio Mérida. Mérida, Yucatán. Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/d/12379/5/31/Tiempo-promedio-el-31-de-mayo-en-M%C3%A9rida-M%C3%A9xico#Sections-Temperature>

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1st author: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 1st author: (Scholar-PNPC or SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1st coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 1st coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

ID 2nd coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 2nd coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

ID 3rd coauthor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID) and CVU 3rd coauthor: (Scholar or SNI) (No.10 Times New Roman)

(Report Submission Date: Month, Day, and Year); Accepted (Insert date of Acceptance: Use Only ECORFAN)

Citación: Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1^{er} Autor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1^{er} Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 2^{do} Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 3^{er} Coautor. Apellido

Correo institucional [Times New Roman No.10]

Primera letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre Editores. Apellidos (Coord) *Título del Handbook [Times New Roman No.10]*, Temas Selectos del área que corresponde ©ECORFAN- Filial, Año.

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Abstract

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo, en inglés.

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.12

1 Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?.

Enfocar claramente cada una de sus características.

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Capítulo.

Desarrollo de Secciones y Apartados del Capítulo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Capítulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Capítulo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte Superior con Times New Roman No.12 y Negrita, señalando la fuente en la parte Inferior centrada con Times New Roman No. 10]

Tabla 10.1 Título

Particiones	Valores	Log
P1	7.58	0.88
P2	7.62	0.88
P3	7.58	0.88
P4	7.59	0.88
P5	7.57	0.88
P6	7.58	0.88
P7	7.57	0.88

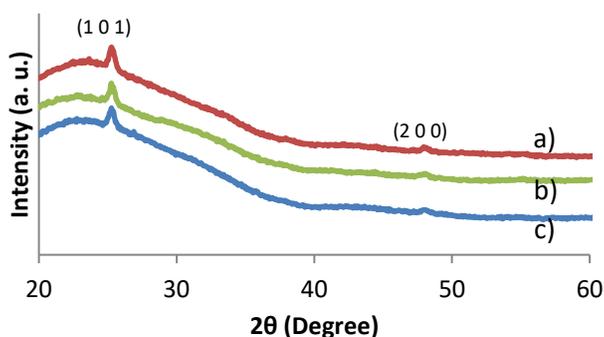
Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Figura 1.1 Título



Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Gráfico 1.1 Título



Fuente de Consulta:

(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Cada Capítulo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$P = \frac{[V_V - P_V]^{1/2}}{V_O - P^{Uh}} + \frac{3}{4} \left[\frac{(P^{VL})}{(P_u)} \right] \rightarrow \int_{V^{La}}^J \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados.

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Capítulo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo, en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Capítulo.

Ficha Técnica

Cada Capítulo deberá presentar en un documento Word (.docx):

Nombre del Handbook

Título del Capítulo

Abstract

Keywords

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Secciones del Capítulo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

ECORFAN Handbooks se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del Ecorfan Handbooks. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el Ecorfan Handbooks enviará al autor las pruebas para su revisión. Ecorfan® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de Ecorfan-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a Ecorfan Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que Ecorfan-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Handbooks, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE	For international bibliographer's manager
MENDELEY	For basification of data from scientific journals
GOOGLE SCHOLAR	For your international search specialized in retrieving scientific documents
REDIB	Ibero-American Network of Innovation and scientific knowledge-CSIC

Servicios Editoriales:

Identificación de Citación e Índice H.
Administración del Formato de Originalidad y Autorización.
Testeo del Chapter con PLAGSCAN.
Evaluación de Obra Científica.
Emisión de Certificado de Arbitraje.
Edición de Obra Científica.
Maquetación Web.
Indización y Repositorio
Publicación de Obra Científica.
Certificado de Obra Científica.
Facturación por Servicio de Edición.

Política Editorial y Administración

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistentes Editoriales

SERRUDO-GONZÁLES, Javier. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan),sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

43 Calle # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colombia.



9 786078 695355

ISBN: 978-607-8695-35-5



www.ecorfan.org