

Handbook T-II

CIERMMI Mujeres en la Ciencia

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel
DIAZ-ARENAS, Perla Maidaly
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo

Coordinadores



ECORFAN®

Coordinador

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel. PhD
DIAZ-ARENAS, Perla Maidaly. BsC
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo. 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

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8695-05-8

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control HCI: 2019-03

Clasificación HCI (2019): 030919-0102

©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. HCI 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 en 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

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences et Technologies de Lille

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

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

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Comité Arbitral

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

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

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

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 rescindirá 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 homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceania. 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 La invención y las mujeres en Mexico

Volumen II

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.

Para futuros volúmenes:

<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

**Marroquín-De Jesús, Ángel • Olivares-Ramirez, Juan Manuel • Diaz-Arenas, Perla
Maidaly • Cruz-Carpio, Luis Eduardo**

Coordinadores

La invención y las mujeres en Mexico T-II

Handbooks

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

Septiembre 2019

DOI: 10.35429/H.2019.2.1.125

Prólogo

En nuestro país, cada vez hay más mujeres en los laboratorios de los centros de investigación y universidades, son pocas las que encabezan grupos de trabajo y dirigen centros científicos. Las profesoras-investigadoras de los diferentes subsistemas educativos de nuestro país, tales como: Tecnológico Nacional de México, Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas, Universidades Autónomas, Centros de Investigación, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México, entre otras, contribuyen a la formación de futuros ingenieros, maestros en ciencias, doctores y postdoctores, pertenecen al sistema nacional de investigadores, desean alcanzar su perfil PRODEP y/o conservarlo, son hijas, madres, esposas que desarrollan actividades de divulgación científica, combinando la teoría y la práctica, proponen proyectos de investigación, compiten por recursos en convocatorias del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se comprometen y se logran resultados derivado de sus investigaciones.

En reconocimiento al día internacional de las Mujeres y las Niñas en la Ciencia de la UNESCO y para celebrar a las profesoras-investigadoras de nuestro país, el comité organizador del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mecatrónica, Mantenimiento Industrial e Informática CIERMMI 2019, y la empresa ECORFAN-MÉXICO, crearon el programa, la colección de Handbooks Online, “CIERMMI, Mujeres en la Ciencia 2019”, para apoyar a las profesoras-investigadoras, cuyas necesidades académicas incluyen la garantía de calidad, revisión, publicación y colaboración entre autores complementarios.

En este libro, se muestran los resultados de las actividades de investigación, desarrolladas por las profesoras-investigadoras de las distintas instituciones de educación superior nuestro país, que van desde revisiones del estado del arte de temas tan diversos tales como: energías renovables, mecatrónica, mantenimiento industrial, e informática, hasta la divulgación de los resultados de sus investigaciones.

Deseo expresar mi más sincero y amplio reconocimiento a las profesoras-investigadoras que atendieron la convocatoria, enviando su capítulo de libro, a la empresa ECORFAN-MÉXICO, por todo el apoyo brindado para la realización de estos libros en formato digital, con lo que se lo contribuye a reducir “la brecha de género en los sectores de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas que persisten desde hace años en todo el mundo”.

Enhorabuena por todas las participantes.

*MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel. PhD
Presidente del Colegio de Ingenieros en Energías Renovables del Estado de Querétaro A.C.*

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 TII-2019 contiene 9 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, *Duran, Juarez y Sanchez*, han analizado la sustentabilidad energética del proceso de reciclado de PVC de alfombra modular, como Segundo Capítulo, *Morales, Rafael, Altamirano y Caballero*, se enfocan en la aplicación de las tecnologías móviles al servicio de transporte público para personas con discapacidad en la ciudad de Oaxaca.

Como tercer capítulo *Estrada, Flores, Velarde y Martínez*, presentan el desarrollo de sistema de control de reactivos con base en la inspección de la superficie de la espuma y su relación con el monitoreo del flujo de ganga en una columna de flotación, como cuarto capítulo *Villagran, Patiño, Hernández y Beltrán*, proponen el diseño de un control híbrido neurodifuso para una unidad turbogás, como quinto capítulo *Domínguez & Cano*, se refieren a familias normales, Teorema Grande de Picard y algunas de sus consecuencias para funciones analíticas, como sexto capítulo *Flores, Oros, Sierra y Del Ángel*, desarrollaron una propuesta actual de la Industria 4.0 en el clúster automotriz del Estado de San Luis Potosí, como séptimo capítulo, *Siordia, Rojas, Millán y García*, presentan un Sistema Biomimético para la navegación autónoma en entornos desconocidos, como octavo capítulo *Martínez, Morales, Mota y Mendiola*, desarrollaron un sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas, como último capítulo, *Ibarra, Aragón y Sánchez*, se enfocan es un sistema de visión integrado en FPGA para el cálculo de la orientación de objetos usando momentos de inercia de segundo orden.

MARROQUÍN-DE JESÚS, Ángel
OLIVARES-RAMIREZ, Juan Manuel
DIAZ-ARENAS, Perla Maidaly
CRUZ-CARPIO, Luis Eduardo

Coordinadores

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| <p>1 Análisis de la sustentabilidad energética del proceso de reciclado de PVC de alfombra modular DURAN-GARCIA, Maria Dolores, JUAREZ-MICHUA, Joanna y SANCHEZ-POZOS, Miriam</p> | 1-16 |
| <p>2 Aplicación de las tecnologías móviles al servicio de transporte público para personas con discapacidad en la ciudad de Oaxaca MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela, RAFAEL-PEREZ, Eva, ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol y CABALLERO-RAFAEL, Elia</p> | 17-34 |
| <p>3 Desarrollo de sistema de control de reactivos con base en la inspección de la superficie de la espuma y su relación con el monitoreo del flujo de ganga en una columna de flotación ESTRADA-RUIZ, Rosa Hilda, FLORES-CAMPOS, Rubén, VELARDE-SÁNCHEZ, Emma Julia y MARTÍNEZ-CARRILLO, Diego</p> | 35-49 |
| <p>4 Diseño de un control híbrido neurodifuso para una unidad turbogás VILLAGRAN-VILLEGAS, Luz Yazmin, PATIÑO-ORTIZ, Miguel, HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Luis Héctor y BELTRÁN-FERNÁNDEZ, Juan Alfonso</p> | 50-68 |
| <p>5 Familias normales, Teorema Grande de Picard y algunas de sus consecuencias para funciones analíticas DOMÍNGUEZ-SOTO, Patricia & CANO-CORDERO, Laura</p> | 69-77 |
| <p>6 Propuesta actual de la Industria 4.0 en el clúster automotriz del Estado de San Luis Potosí FLORES-CEDILLO, María Lisseth, OROS-MÉNDEZ, Lya Adlih, SIERRA-GUERRERO, Adela Marisol y DEL ÁNGEL-LÓPEZ, Hulda Zulema</p> | 78-87 |
| <p>7 Sistema Biomimético para la navegación autónoma en entornos desconocidos SIORDIA-VASQUEZ, Xóchitl, ROJAS-HERNÁNDEZ, Miguel Ángel, MILLÁN-TEJEDA, José Omar y GARCÍA-RAMOS Roman</p> | 88-97 |
| <p>8 Sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas MARTÍNEZ-AGUILAR, Gloria Mónica, MORALES-IBARRA, Vanessa Maribel, MOTA-BARRAGAN, Martha y MENDIOLA-GARCIA, Yessica</p> | 98-114 |
| <p>9 Sistema de visión integrado en FPGA para el cálculo de la orientación de objetos usando momentos de inercia de segundo orden IBARRA-BONILLA, Mariana Natalia, ARAGÓN-MORALES, Jesús Ángel y SÁNCHEZ-TEXIS, Fernando</p> | 115-125 |

Capítulo 1 Análisis de la sustentabilidad energética del proceso de reciclado de PVC de alfombra modular

Chapter 1 Energy sustainability analysis of the recycled PVC from carpet

DURAN-GARCIA, Maria Dolores†*, JUAREZ-MICHUA, Joanna y SANCHEZ-POZOS, Miriam

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ingeniería.

ID 1^{er} Autor: *Maria Dolores, Duran-Garcia* / **ORC ID:** 0000-0003-3584-4783

ID 1^{er} Coautor: *Joanna, Juarez-Michua* / **ORC ID:** 0000-0001-9099-5141

ID 2^{do} Coautor: *Miriam, Sanchez-Pozos*

DOI: 10.35429/H.2019.2.1.16

M. Duran, J. Juarez y M. Sanchez

mddurang@uaemex.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Diaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

Debido al gran crecimiento de la población mundial y al incremento en el nivel de vida en general se ha incrementado de manera importante el empleo de fibras textiles sintéticas en las últimas décadas. En este sentido, el presente artículo permite mostrar un análisis de la sustentabilidad energética del proceso de producción de alfombras y las perspectivas que tienen el proceso de reciclado de la misma en México; enfocándose principalmente en el reciclado de PVC. Este trabajo está enmarcado en un proyecto Conacyt-INOVAPYME en el cual se propone un proceso innovador de reciclado de algunos componentes de alfombras. Se realiza un análisis de los antecedentes sobre el proceso de reciclado de alfombras y textiles a nivel mundial y en los Estados Unidos, con el fin de mostrar el potencial y ahorro que genera el reciclado de algunos compuestos como el PVC, Nylon, poliéster y fibras sintéticas. Asimismo, se realiza un análisis sobre el consumo de energía y agua de la producción de alfombra con materiales vírgenes y el proceso de reciclado. Con el fin de presentar un contexto y mostrar la viabilidad del proceso. Finalmente se toman algunos criterios para obtener conclusiones respecto a la sustentabilidad del proceso.

Reciclado, Alfombra, Sustentabilidad energética, PVC

Abstract

Due to the great growth of the world population and the increase in the standard of living in general, the use of textile fibers has increased significantly in recent decades. In this context, this article allows to show an analysis of the sustainability of the carpet production process and the perspectives that have the process of recycling it in Mexico, focusing mainly on PVC recycling. This paper is one of the results of one CONACYT-PEI Project, in which its objective is the design of a carpet recycling process in Mexico. In order to show the potential and savings generated by the recycling of some compounds such as PVC, Nylon, polyester and synthetic fibers, an analysis of the background on the process of recycling of carpets and textiles worldwide and in the United States is performed. Likewise, an analysis is carried out on the energy and water consumption of carpet production with virgin materials and the recycling process. In order to present a context and show the viability of the process. This document is focused particularly in the recycling process of the carpet backing. Finally, some criteria are taken to obtain conclusions regarding the sustainability of the process.

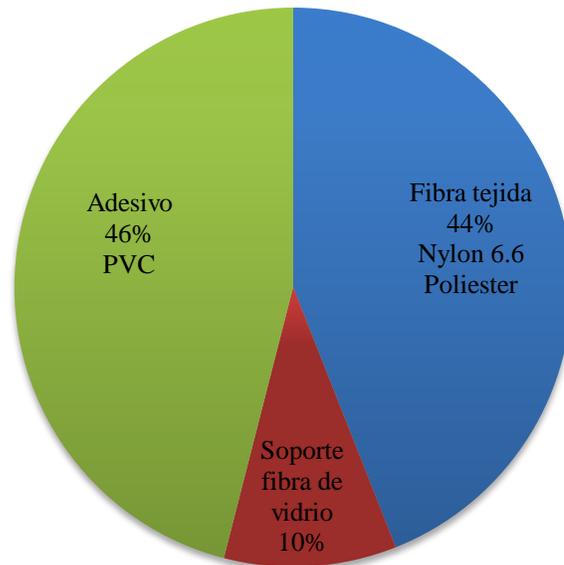
Carpet recycling, Energetic sustainability, PVC

1. Introducción

Resulta difícil indicar desde qué año exactamente comenzó la fabricación artesanal de alfombras, ya que estas estaban confeccionadas con material degradable como seda, lana y algodón. Sin embargo, algunos arqueólogos indican que se han hallado alfombras que datan desde los primeros siglos de la era cristiana. Las primeras de ellas eran todas hechas a mano, de origen persa o turco; eran elementos decorativos muy valiosos y principalmente ornamentales.

La técnica de tejer y anudar alfombras fue desarrollándose a lo largo de los años y los motivos se hicieron más detallados. Posteriormente, las alfombras se volvieron artículos más comunes, principalmente desde que comenzó su comercialización en Europa, lo que hizo necesario que poco a poco se industrializara el proceso de producción de tal modo que ahora es totalmente automatizado. De la misma forma, las materias primas fueron cambiando, actualmente una alfombra comercial está compuesta principalmente por fibras sintéticas. Particularmente la alfombra modular consta normalmente de 4 capas: la cara principal de fibras tejidas, el soporte primario de fibra de vidrio, el adhesivo y el soporte secundario de fibra de vidrio. En la cara principal se utilizan fibras sintéticas, principalmente nylon, poliéster, PET, viscosa, lana, polipropileno, algodón, yute. El soporte principal que es el que mantiene unida la fibra está compuesto de fibra de vidrio y un elastómero que funciona como adhesivo y que generalmente es PVC o SBR (estireno-butadieno) (The Carpet and Rug Institute, 2003). El porcentaje de los componentes de la alfombra modular se muestra en la figura 1.1.

Figura 1.1 Componentes de la alfombra comercial



Fuente: (Vaidyanathan et al. 2013)

Como puede observarse, las alfombras están compuestas de diversos materiales cuya obtención tiene un alto impacto ambiental y energético. Asimismo, la deposición de los residuos de estas, tiene un alto impacto porque, a diferencia de las de la antigüedad, son materiales compuestos difíciles de separar y reprocesar para su reciclado, además de no ser biodegradables y provocar serios problemas ambientales.

Uno de los componentes principales del adhesivo de la alfombra modular es el PVC, este polímero es uno de los materiales plásticos que más se producen en el mundo, su producción tiene un alto consumo energético y, al igual que la mayoría de los materiales plásticos, es muy difícil de degradar y genera una gran cantidad de residuos persistentes.

En este sentido, el reciclado es una excelente opción para disminuir este tipo de residuos, así pues, el presente trabajo muestra un análisis de la sustentabilidad del proceso de reciclado de alfombra, enfocándose principalmente en el análisis de sustentabilidad energética del reciclado del PVC. Presenta algunos antecedentes de este proceso en otros países y sus beneficios medioambientales y económicos y está enmarcado en una propuesta de proyecto PEI-CONACYT para la instalación de una planta de reciclado de alfombras en Toluca. Por la razón antes expuesta no se presenta el diseño del equipo propuesto para el reciclado, sin embargo se analiza el consumo energético de su proceso con el fin de realizar una comparativa con la producción de PVC virgen.

Es importante destacar que actualmente no existe un proceso comercial de reciclado de alfombras en México, estas se desechan una vez que han cumplido su periodo de uso (5 a 11 años aproximadamente), por esta razón se considera muy importante el resultado de este proyecto de investigación.

A lo largo del presente capítulo se explicarán primeramente los antecedentes de procesos de reciclado de alfombra que existen en el mundo y en el País, esto servirá para justificar y documentar esta investigación. Posteriormente se describirá la metodología empleada para analizar la sustentabilidad energética del reciclado de PVC de la alfombra modular y finalmente se describirán los resultados en cuanto a ahorro de energía e impacto ambiental del proceso.

2. Antecedentes

2.1. Contexto Internacional

En este nuevo milenio, muchas compañías, principalmente en U.S, Europa y Japón han respondido a los retos presentados por el calentamiento global adoptando compromisos de sustentabilidad.

Se pueden observar en el mercado, procesos sustentables, productos sustentables, etc. Estos programas incluyen deposición de residuos, nuevos materiales, ahorro de energía y reciclado.

Sin embargo, para que un producto sea realmente sustentable, debe considerar aspectos, económicos, ecológicos, ambientales, atender perspectivas de consumo de recursos y creación de valor y considerar la deposición de residuos una vez que termina el ciclo de vida de los productos. (Fiksel, et.al. 1999).

La industria de las alfombras, no puede ser la excepción, las alfombras tienen un promedio de vida útil de 5 a 11 años antes de ser retiradas (Mihut, et. al. 2001). Tan solo en los E. U., 4 millones de toneladas se tiran a los vertederos cada año, mientras que en Europa 1.6 millones de toneladas. En el año 1998 en Europa se fundó la CRE (Carpet Recycling Europe) y en 2002, en U. S. se creó la CARE (Carpet America Recovery Effort), se trata de asociaciones civiles formadas de empresas relacionadas con la producción de alfombras y sus componentes, creada con el fin de buscar soluciones para la deposición y reciclado de los materiales que conforman las alfombras. (CARE, 2017).

Desde que CARE fue fundada, sus miembros han logrado recolectar y procesar más de 3.63 miles de millones de libras brutas de alfombras desechadas en los Estados Unidos. Esto es equivalente a 56498mTCO₂E usando el modelo EPA-WARM y la energía ahorrada es la suficiente para proveer 16736 casas en el año, esto es 323,852 barriles equivalente de petróleo. (CARE, 2017)

La cantidad de alfombra recolectada en U. S. equivale a un porcentaje promedio de material reciclado de 14.2%, los principales materiales que se reciclan, son Nylon, PVC, resina, PET, entre otros.

Actualmente, la empresa Shaw Industries Group, que es la empresa productora de alfombras más grande del mundo, posee un sistema de recolección en reciclado de alfombra muy amplio. Ha invertido más de 20 millones de dólares en este programa y ha reciclado más de 700 millones de libras desde alfombra desde que comenzó su programa en el año 2006. Esto ha permitido reducir notablemente costos de materia prima ya que tiene su propio proveedor de nylon y poliéster y actualmente certifica que el 60% del contenido de sus alfombras es reciclado.

Particularmente el presente trabajo se enfoca al reciclado del soporte trasero de la alfombra modular, que en su mayoría está compuesta por PVC y adhesivo. Se enfoca a este componente debido a que se trata de una de las materias primas que se recicla con mayor facilidad y con un bajo costo y consumo energético.

Se decidió trabajar sobre el reciclado de este material debido a que la mayoría de los trabajos analizados refieren el reciclado de residuos plásticos, como es el reciclado del PET y de PVC rígido empleado en construcción de ventanas, no indican nada acerca del reciclado de PVC de alfombra o loseta vinílica. (Al-Salem et. al., 2009).

De hecho sólo algunos autores como Realf y Saunders (2005) analizan la sustentabilidad del reciclado de recubrimientos para piso y otros trabajos como el informe presentado Wrap A.C. (2013) analizan la sustentabilidad y el impacto ambiental del proceso de producción de alfombra.

Por otro lado, algunos estudios como el de (L. Ye et. al, 2016), utilizan el método de análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental del PVC primario y reciclado, y llegan a resultados bastante alentadores. Algunos autores como (Wu et.al. ,2010) concluyen que el consumo energético de la producción de PVC virgen es 3 veces mayor que el que se tiene al reciclar este material mientras que las emisiones son prácticamente el doble. De la misma manera, existen algunos estudios enfocados al análisis del proceso de reciclado de Nylon 6.6 y en ellos se concluye que se pueden tener ahorros de energía hasta de un 30% (Bird, 2014).

2.2. Antecedentes en México

En México, debe reconocerse que el reciclado de Materiales Plásticos es una realidad, y tiene probada su sustentabilidad, ejemplo de ello es PETSTAR planta de reciclado de envases de PET ubicada en Toluca, Edo.

De México que es la empresa más grande de reciclado de este material en grado alimenticio en el País y en América Latina.

Sin embargo, algunos documentos como el del Instituto Nacional de Recicladores (2014), señalan que en nuestro País se recicla solamente el 11% de los plásticos, existiendo aproximadamente 150 empresas dedicadas a estos procesos. Esto hace ver la falta de incentivos públicos y lo poco que se ha explotado en este mercado, más aun considerando que los plásticos reciclados son una gran opción si se busca el ahorro de costos, debido a que el proceso de reciclaje sólo utiliza 20% de la energía que se utiliza para materia prima virgen.

Particularmente, se observa que en materia de reciclado de PVC y Nylon se ha realizado muy poco trabajo, existiendo únicamente una empresa dedicada al reciclaje de Nylon 6. Y en lo que respecta al PVC sólo se recicla el proveniente de ventanas y envases. Esto último se debe a que el PVC es un plástico considerado “incómodo de reciclar” debido a que por su contenido de cloro los centros de acopio no lo reciben. (Malacara N. 2018)

Particularmente, en lo que respecta a los componentes de alfombras se ha realizado prácticamente un nulo trabajo en México. Esto es muy preocupante, principalmente si se considera que, de acuerdo con el (INEGI, 2017), en México existen 2272 unidades económicas dedicadas a la fabricación de alfombras y similares, lo cual equivale a 152 millones de pesos de producción bruta mensual. En el Estado de México y el Distrito Federal se concentra alrededor del 30% de esta producción con el consumo es superior al 55% de la producción nacional. Estas cifras permiten visualizar la magnitud de los desechos de estos productos que se generan en esta zona, una vez que termina su periodo natural de uso son simplemente sustituidos en edificios públicos, privados y hogares en general. A esto se le debe sumar las importaciones en este sector lo que equivale a 360 millones de metros cuadrados de alfombra. Aunado a ello, de acuerdo con Hannover Fairs México, en el presente año se tendrá un incremento de 3.5 a 4% en la industria de alfombras, con lo cual se espera que para finales de este año se hayan producido 385 millones de m² de este insumo. Este material será desechado al terminar su vida útil, que será en un periodo de 5 a 10 años, después de los cuales se desearán aproximadamente 167,400 toneladas de residuos aproximadamente, considerando una densidad de 2.3kg/m² de alfombra. (AM Querétaro, 2018)

En México, a diferencia de E. U. y Europa, no existen políticas públicas ni un programa para el reciclado, recolección y reaprovechamiento de la alfombra; por consiguiente, no existe en el mercado nacional equipo y maquinaria o proceso para realizar el trabajo.

Atendiendo a esto, se realizó el análisis de sustentabilidad energética del proceso de reciclado del PVC de alfombra y se observó que es posible obtener una cantidad importante de materia prima, solamente de los servicios públicos municipales. En el apartado de factibilidad se aprecian datos específicos sobre los volúmenes de desechos que potencialmente se obtendrán para su procesamiento.

3. Materiales y Métodos

3.1. Metodología

Teniendo en cuenta los antecedentes presentados y dado que en México no existen empresas similares dedicadas al tratamiento de residuos de recubrimiento de suelo y alfombra. En el estudio que aquí se expone se realizó un análisis primeramente de la sustentabilidad energética de la producción del PVC virgen, esto con el fin de observar los consumos energéticos de este proceso y tener un punto de comparación para la propuesta que se presenta.

Posteriormente se realiza un análisis a grandes rasgos de los diferentes tratamientos que según algunos autores (Bird, 2014) se pueden dar a los residuos plásticos, esto para analizar el impacto ambiental que tendría cada una de estas propuestas; partiendo de ello se observó que de acuerdo al impacto ambiental y a las propuestas de organizaciones internacionales, la mejor opción es el reciclado del residuo de la alfombra (CRI, 2003).

Se analizaron los procesos existentes en otros países para realizar la separación y reprocesamiento de los componentes de la alfombra y con base en ello se propone la separación mecánica. La elección del procedimiento óptimo se realizó con base en la metodología de Norton (2006), considerando los factores más importantes para lograr una separación a bajo costo y con el menor consumo energético.

Por su parte el análisis de sustentabilidad se realiza basado en la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV), ésta es una técnica de gestión ambiental desarrollada para comprender y tratar los aspectos e impactos ambientales potenciales relativos a productos tanto manufacturados como consumidos (ISO, 2006).

El Ciclo de Vida de un producto involucra flujos de materia, energía y dinero a lo largo de su cadena de valor, no obstante, para tener un panorama completo se deben considerar los impactos de todos los actores: trabajadores, comunidades locales, consumidores y la sociedad en general involucrados con la producción y consumo del producto (UNEP, 2011). Sin embargo, un ACV puede realizarse principalmente en tres tipos de alcance: de cuna a tumba-incluye todas las fases del ciclo de vida del producto, de cuna a puerta –abarca de la extracción al final del ciclo de producción, y de puerta a puerta –de extracción hasta el producto terminado (García, et al., 2018)

En el presente documento se pretende analizar sólo la sustentabilidad energética del reciclado de materiales de la alfombra; por lo que no se realiza el ACV del proceso completo.

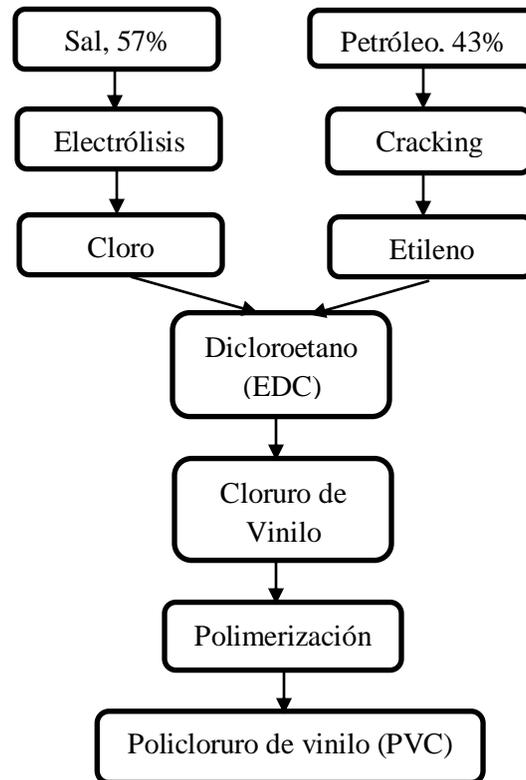
Los pasos descritos se describen en los subapartados siguientes.

3.2. Componentes y producción del PVC

Como se indicó anteriormente, un alto porcentaje del contenido de la alfombra lo representa el soporte el cual en su mayoría es PVC, por esta razón en este trabajo se presenta la propuesta del reciclado de PVC. El PVC es la resina sintética compleja y difícil de formular y procesar, pues requiere de un número importante de ingredientes y un balance preciso de éstos para poder transformarlo al producto final deseado. Es un material muy versátil; pues además de ser termoplástico, a partir de él se pueden obtener productos rígidos y flexibles. Entre sus principales aplicaciones están:

- Envases
- Perfil para ventana
- Pisos
- Recubrimientos
- Alfombras

Su proceso de producción es altamente contaminante y tiene un alto consumo energético. En la siguiente figura se describe su proceso de producción.

Figura 1.2 Proceso de fabricación del PVC

(Fuente: <http://www.aliplast.org/>)

Dado el proceso de producción de PVC virgen, se requiere un alto consumo energético para su producción, autores como L. Ye et. al (2017), realizan un análisis de ciclo de vida de la producción de este insumo plástico, considerando como unidad funcional la producción e 1 tonelada de PVC, los consumos energéticos y de agua que tiene este proceso de producción se presentan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Consumos energéticos y de agua para la producción de 1 Ton de PVC virgen

| Recurso | | PVC Virgen |
|---------------------|-------------------|--------------------|
| Agua desionizada | (Ton) | 0.21 |
| Agua | (kg) | 5.48×10^3 |
| Energía | (kWh) | 165 |
| Gas Natural | (m ³) | 29.61 |
| Desecho de alfombra | (Ton) | 2.17 |

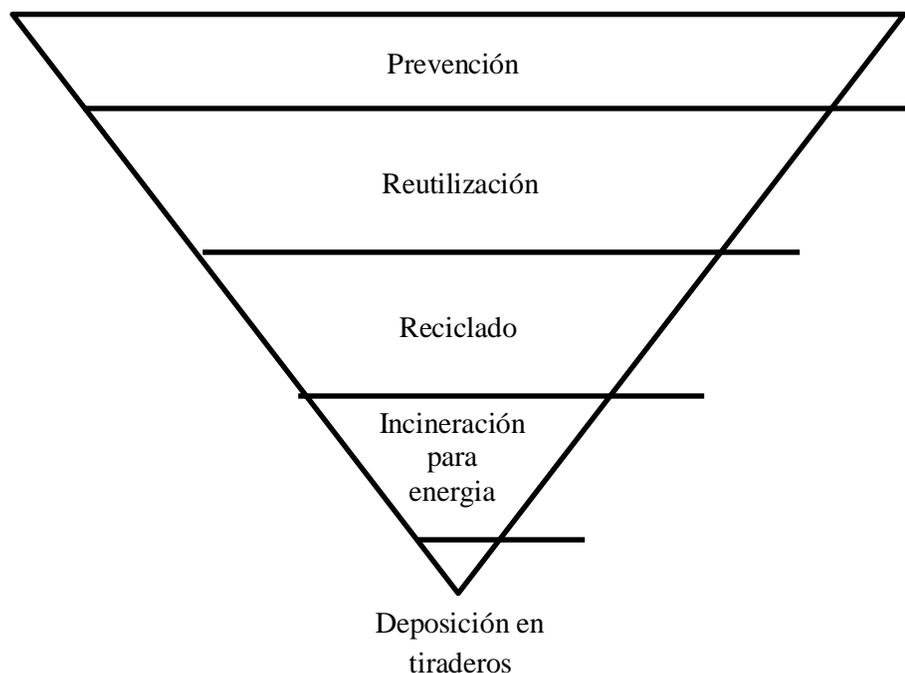
Fuente: L. Ye et. al (2016)

Este mismo autor indica que el potencial de calentamiento global de la producción de 1 tonelada de este insumo es 2.82×10^3 kg de CO₂ equivalente. Esto aunado a las emisiones de SO₂, Cl y HCl que también se presentan hace que sea un proceso poco sustentable y con un alto potencial de toxicidad hacia el medio ambiente.

3.3. Tipos de tratamiento de los residuos de la alfombra

De acuerdo con autores como Bird (2014) existe una jerarquía en el tratamiento de los residuos la cual se define según su grado de sustentabilidad. La figura 3 muestra esta jerarquía, de acuerdo con ella la prevención es la mejor opción para el manejo sustentable de estos residuos. Esto se logra con el uso de menos materiales vírgenes o materiales, degradables que no contengan residuos peligrosos, contemplando esto tanto en el diseño como en la manufactura del producto; esto también debe considerar diseños con mayor longevidad y en los cuales la separación de los materiales y, por lo tanto la deposición de los residuos sea sencilla, sin embargo, esto va en contra de muchas políticas adoptadas por la mayoría de las compañías hoy en día. Posterior en esta jerarquía se encuentra la reutilización, en la cual empresas como INTERFACE, promueven la reutilización de alfombras para albergues o escuelas marginadas. En seguida se encuentra el reciclado cuya factibilidad se muestra en el presente documento y finalmente la combustión para obtención de energía y a la deposición en los vertederos.

Figura 1.3 Jerarquía del manejo de los residuos



Fuente: Elaboración propia

El empleo de la alfombra como combustible tiene aplicación principalmente en hornos cementeros y calderas de lecho fluidizado. En general, los componentes de la alfombra, como el polipropileno, tienen un poder calorífico equiparable con el diésel, sin embargo, el problema de esta acción es que la generación de gases tóxicos como metales pesados, plomo, cadmio y cloruros, por lo que no se puede considerar una opción sustentable para el tratamiento de los desechos de las alfombras.

3.4. Reciclado de los residuos de alfombra

Como ya se indicó, el PVC es un material cuyo proceso de reciclado es difícil debido a su contenido de cloro, sin embargo, una medida sustentable para el tratamiento de los residuos de alfombra es su reprocesamiento. Dentro de este se encuentran los siguientes:

- Reprocesado de la fibra. Representa el 2% de las opciones actualmente empleadas para procesamiento de residuos de alfombras. Consiste en separar las distintas fibras, lo que se hace mediante la despolimerización, al sumergir la fibra en un solvente que causa la separación de las fibras de otros componentes plásticos. Este proceso permite recuperar el caprolactama (monómero del Nylon) para que sea polimerizado nuevamente y empleado en la producción de nuevas alfombras o en la industria automotriz. Este proceso también puede realizarse con vapor sobrecalentado a una temperatura entre 250 y 400 C. (Hopewell, et. al. 2009).
- Reprocesamiento del material plástico. Esto incluye la separación del soporte de PVC o SVR. Este proceso representa el 4% de las opciones de reciclado de alfombra, es económicamente rentable comparado con el reprocesamiento de la fibra, por su poca demanda de energía y materiales. Consiste en el calentamiento de la alfombra y la posterior separación mecánica una vez que el PVC ha perdido su estabilidad. Una vez separado el PVC se muele y puede aprovecharse casi en su totalidad en la fabricación de alfombra nueva, sin que este pierda sus propiedades.

Analizando los procesos antes descritos, con base en la metodología de Norton (2006) se observa que lo más factible económicamente es la recuperación del PVC porque implica menos procesos y no requiere un procedimiento químico, como es la despolimerización.

Así pues, el proceso de reciclado que aquí se propone consiste precisamente en el reprocesamiento del material plástico, en este no pretende separar estos componentes, ya que se trata de una separación mecánica para un posterior reúso de esta capa, mediante un proceso muy simple que se describe en el siguiente apartado.

3.5. Propuesta de proceso de reciclado de alfombra.

Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo esta enmarcado en los resultados de un proyecto PEI-CONACYT, del cual una servidora fue responsable técnico. En este proyecto se firmó un contrato de confidencialidad por lo que no es posible dar detalles del proceso. Sin embargo se describe de manera general.

Es importante mencionar que aun cuando es el resultado de un proyecto específico de innovación, el presente documento muestra que es factible energéticamente llevar a cabo el procedimiento de separación mecánica de alfombra para el reciclado del PVC. El llevar a cabo este procedimiento de reciclado permitiría que cientos de toneladas de alfombra no llegaran a tiraderos, con el impacto ambiental que ello implica.

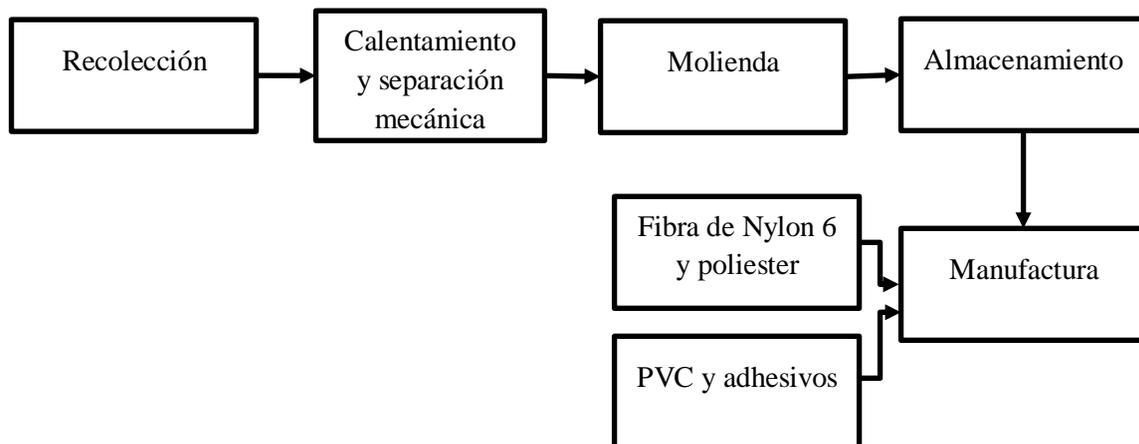
El procedimiento consiste en la separación de la capa posterior de la alfombra modular (backing) para ello es necesario calentar la alfombra a una temperatura aproximada de entre 90 y 100°C que corresponde a la temperatura de ablandamiento del PVC sin que este comience a degradarse y a emitir sustancias tóxicas, una vez que este ha reblandecido se procede a una separación manual y molienda del material.

De acuerdo a las pruebas realizadas en la misma empresa de 2.7 toneladas de alfombra es posible reciclar 1 tonelada de PVC que se empleará directamente para la capa posterior de la alfombra.

Una vez que se ha molido el PVC, este vuelve a integrarse al proceso de producción de alfombra sin ningún procedimiento adicional, solamente su fusión para su posterior aplicación a la fibra de vidrio.

En el proceso se considera la parte de la recolección de la alfombra desde el centro de acopio, para cuantificar el costo y la energía de esta parte del proceso se toma una distancia de 50km al centro de acopio. Es importante aclarar que no se considera el costo que conlleva el retirar la alfombra ya que este costo es intrínseco en ambos escenarios: con y sin reciclado.

Figura 1.4 Proceso propuesto para reciclado de PVC y soporte de alfombra modular



Fuente: Elaboración propia

3.6. Análisis de sustentabilidad del proceso de reciclado de alfombra

3.6.1. Unidad funcional

Se considera como una unidad funcional la producción de 1 tonelada de PVC a partir del reciclado de 2.7 toneladas de alfombra. Se realiza esto porque en el análisis del proceso se observó que para obtener 1 tonelada de PVC reciclado se deben procesar 2.7 toneladas de alfombra modular.

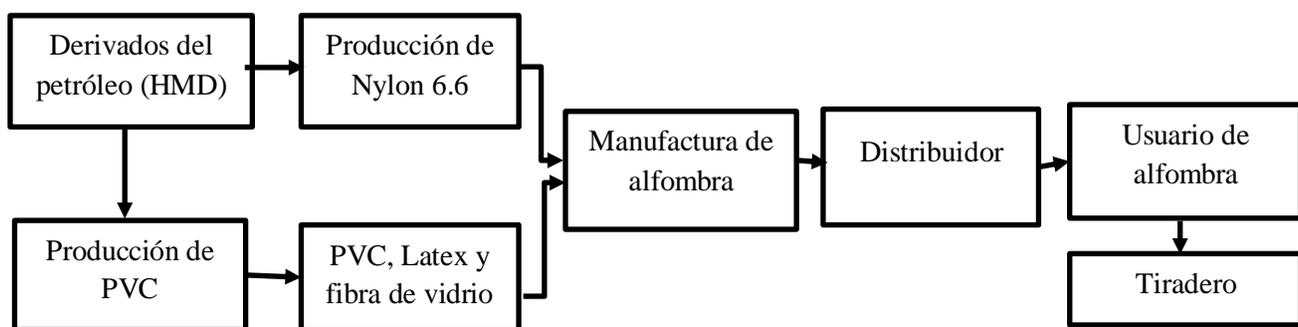
3.6.2. Análisis Funcional

En el presente trabajo se utiliza la metodología de análisis de ciclo de vida del proceso de producción de alfombra con PVC reciclado. El análisis de ciclo de vida consiste en un análisis de las etapas consecutivas que tiene un producto o un sistema, desde que es materia prima hasta que se adquiere para su uso y posteriormente se desecha. Es muy importante indicar que no se trata de una metodología estandarizada y no está completamente definida, sin embargo, es muy útil para obtener los flujos de energía, agua y materiales en cada etapa del proceso e determinar los potenciales que tendría la modificación del mismo o el manejo de un ciclo cerrado de producción (reciclado). (Heijungs, 2013). En este caso el análisis está enfocado únicamente en los consumos energéticos y las emisiones de CO₂.

Así pues, se realiza del proceso de producción de alfombra como actualmente se realiza en México, este se muestra en la figura 5. Puede observarse que se trata de una cadena de producción y disposición lineal, que la mayor parte de la materia prima proviene de derivados del petróleo y que el estado final del producto es su deposición en tiraderos. Este tipo de cadena lineal, en la cual no se considera el reciclado del producto y su disposición final es en un tiradero tiene un alto impacto ambiental.

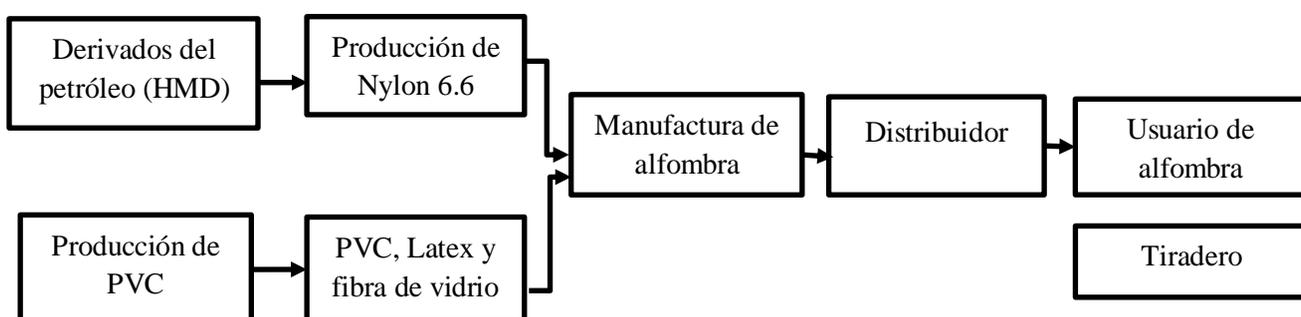
Por su parte en la figura 6 se el proceso propuesto considerando el reciclado del soporte de la alfombra modular, el cual está compuesto en su mayoría de PVC. Para este tipo de sistema es importante considerar la recolección, separación y reconstitución de la alfombra o materia prima, durante el proceso; esto implica la creación de redes de recolección de alfombra usada para su tratamiento, ya que una vez que esta llega a los tiraderos, resulta más difícil el tratamiento del residuo, tiene un mayor consumo energético y el proceso se vuelve menos sustentable.

Figura 1.5 Cadena de producción-disposición lineal de la producción de alfombra



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.6 Ciclo cerrado de producción de alfombra con reciclado de PVC

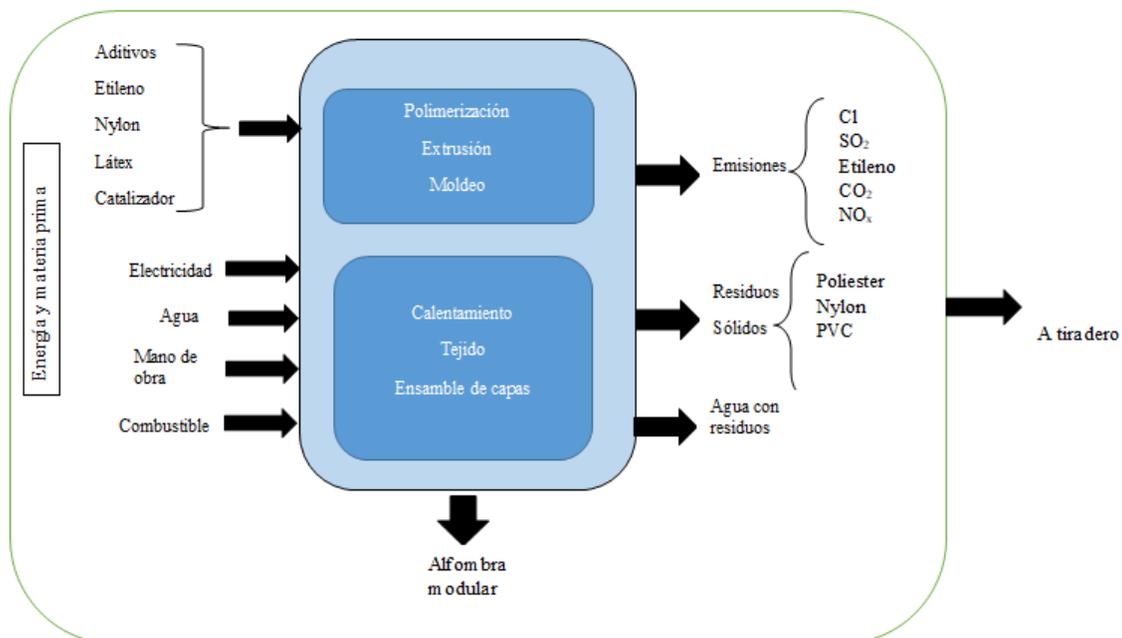


Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que si bien en la figura se muestra la recepción de Nylon y fibra de vidrio no se considera en el análisis su proceso de producción porque únicamente se está analizando la sustentabilidad del proceso de reciclado del soporte de PVC.

Asimismo, se realiza un análisis funcional como referencia para visualizar las entradas y salidas del proceso de producción de la alfombra, éste considera también los consumos de energía y agua durante el proceso. El análisis funcional se realizó tomando como referencia los resultados presentados por CARE (2015) se presenta en la figura 1.5.

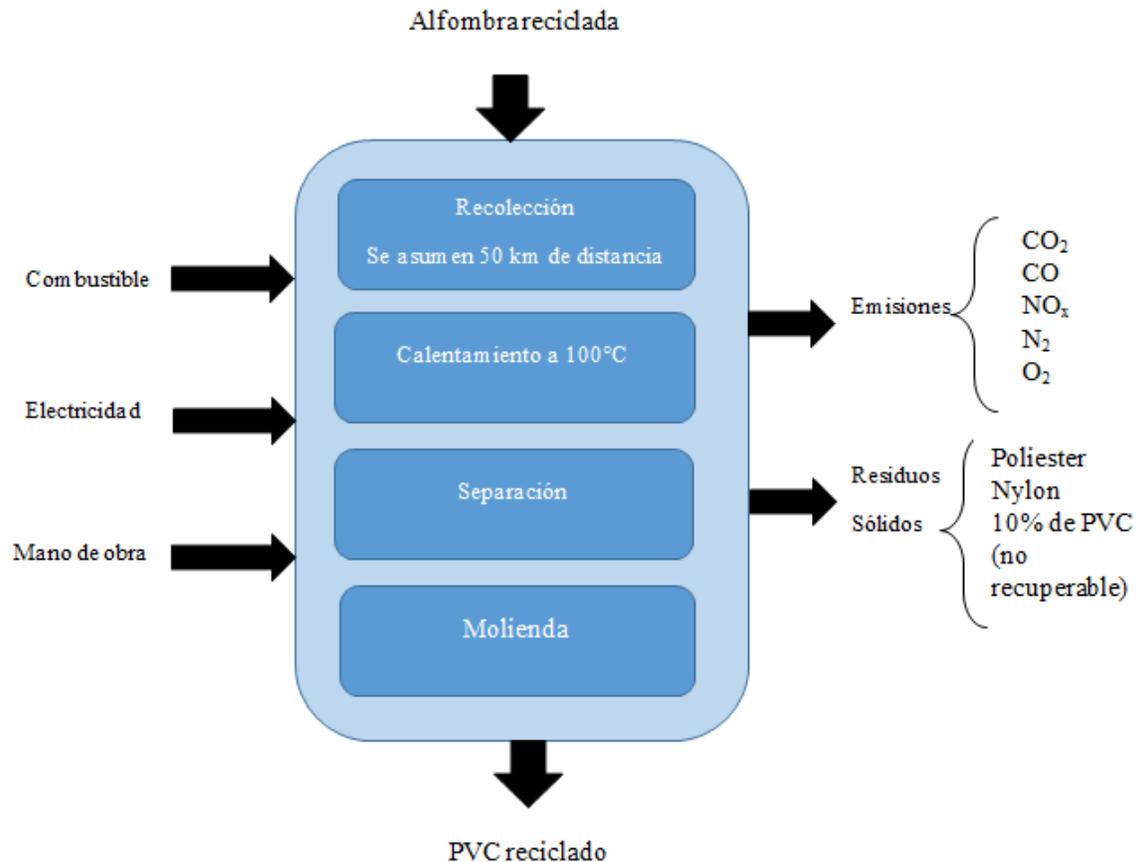
Figura 1.7 Análisis funcional de la fabricación de alfombra



Fuente: Elaboración propia

Se realiza el mismo análisis para la producción de 1 tonelada de PVC reciclado, con ello se determinan cuáles son los flujos más importantes durante el proceso y cuales tienen mayor impacto ambiental, en la figura 8 se muestra este análisis funcional y se compara con el de la producción de 1 tonelada de PVC virgen (fig. 5), esto último tomando como referencia el trabajo de L. Ye. et. al. (2016) quienes realizan el análisis de ciclo de vida de la producción de PVC y otros polímeros.

Por otro lado, para complementar los datos se realizó un análisis de los mayores consumos y emisiones que tiene el proceso de producción de alfombra, en este sentido WRAP (2013), indica que consumo de agua de para producción de alfombra se divide en mayor parte entre el consumo de agua para el criadero de las ovejas, cuando se usa lana natural, y la refrigeración para el proceso de extrusión de Nylon y polipropileno. Por su parte, el proceso que mayormente contribuye a la generación de huella de carbono es el de producción de hilo de Nylon y polipropileno. En cuanto al impacto durante la manufactura de la alfombra, el proceso que más consumo de agua tiene es el teñido, sin embargo este impacto puede reducirse de manera importante al reutilizar el agua posterior a un tratamiento.

Figura 1.8 Análisis funcional del proceso reciclado de alfombra

Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

Considerando el consumo de energía y agua, así como la producción de desechos tóxicos, el reprocesamiento del PVC del soporte de la alfombra modular es la opción más sustentable de reciclado de residuos. Ya que no implica costos elevados ni requerimientos de maquinaria compleja. Considerando, que autores como Wrap (2013) indican que la alfombra tiene una densidad de 2.3 kg/m^2 y que el 46% de esta es material plástico, principalmente PVC, se puede decir que es factible recuperar 1.058 kg de PVC por cada m^2 de alfombra procesada, lo que representa un ahorro importante tanto de energía, agua y emisiones.

Derivado del proceso propuesto en el presente documento se realizó un análisis del consumo energético del equipo empleado en el proyecto para la producción de 1 tonelada de PVC reciclado. Para el cálculo del consumo energético se consideraron todos los sistemas de control, resistencias y banda transportadora que emplea el equipo diseñado para el proyecto. Asimismo, se consideró una distancia de 50 km, empleando un camión de tres toneladas, para la recolección de la alfombra. Estos resultados se muestran en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Consumo energético del proceso de reciclado de PVC de alfombra

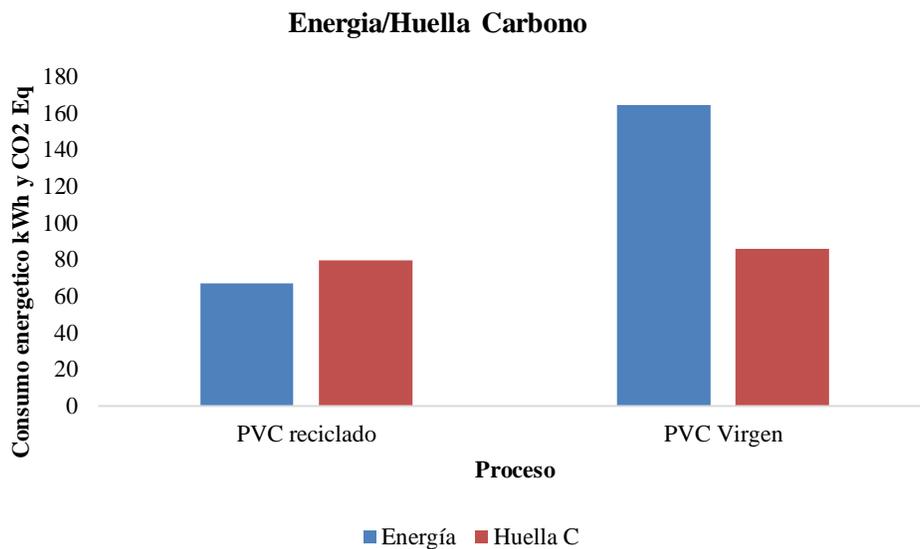
| Parte del proceso | Consumo energético | Consumo de diesel |
|---------------------------|--------------------|-------------------|
| Horno | 51 kWh | |
| Molienda | 11 kWh | |
| Banda transportadora | 5.54 kWh | |
| Transporte de la alfombra | | 250lt |
| Total | 67.4 kWh | 250lt |

Fuente: Proyecto Conacyt PEI-2016

Para tener una perspectiva más clara del ahorro de energía que se tiene en el proceso, en la gráfica de la figura 1.9 se muestra un comparativo del consumo energético de 1 ton de PVC virgen y PVC reciclado de la alfombra modular.

En la misma gráfica se muestra también comparativo de la huella de carbono obtenida solamente por el consumo energético y el transporte del material (PVC y alfombra), considerando el desplazamiento indicado en la tabla 1.2. Para ello también se considera un desplazamiento para la recolección de alfombra que ira al tiradero.

Figura 1.9 Comparativa de consumo energético y huella de carbono derivada de éste entre el reciclado de PVC y la producción del mismo



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SIMAPRO ©

Se observa que la disminución del consumo energético es más de la mitad si se emplea PVC reciclado. Esto muestra el gran potencial que tiene este proceso, el cual es sumamente sencillo y solo implica una logística de recolección para evitar que la alfombra llegue a tiradero. En cuanto a la huella de carbono no se observa una disminución considerable porque se está tomando en cuenta el desplazamiento del material al centro de acopio. Sin embargo, es importante enfatizar que no se está analizando la huella de carbono del proceso completo de producción de PVC, la cual es considerablemente más alta.

Por otro lado, es muy importante tener en cuenta el consumo de petróleo que requiere la producción del PVC. El (MAMRM, 2013), indica que si se considera que el 43% de PVC es derivado de petróleo puro, se puede indicar que por cada tonelada de PVC producido se consumen 0.43 toneladas de petróleo.

Con lo anterior, aun considerando que el proceso de reciclado de PVC de alfombra tiene un consumo energético, tanto eléctrico, como térmico, este es mínimo, comparado con el proceso de producción de PVC virgen. Esto lo hace un proceso económicamente viable y sustentable desde el punto de vista energético.

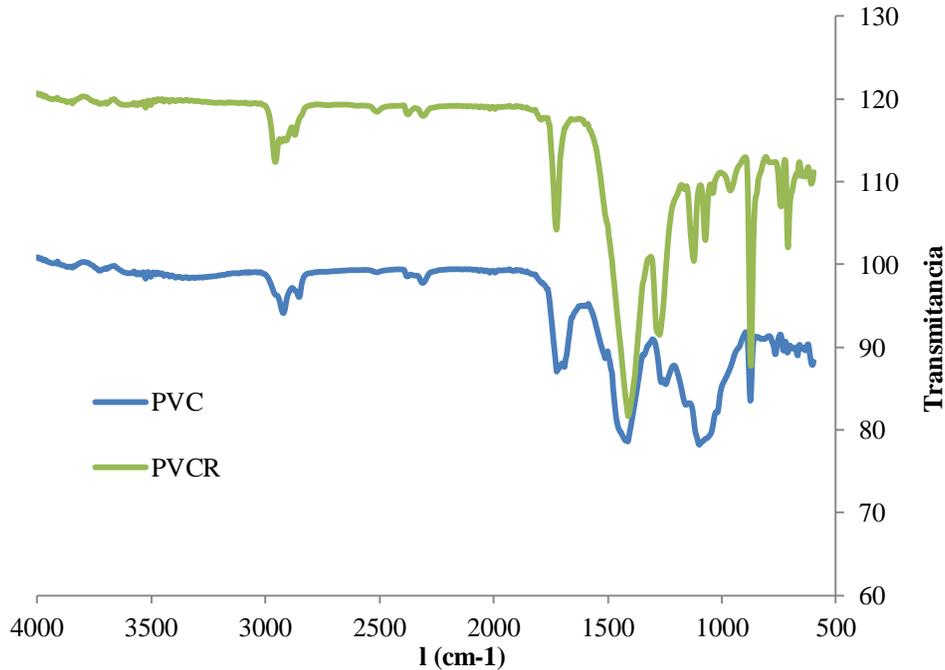
Ahora bien, durante el recorrido que se realizó con empresas del ramo en U.S. se indicó que la meta es emplear al menos el 50% del PVC reciclado, haciendo un análisis en este escenario. Considerando esto se observa que se disminuye notablemente la cantidad de backing requerido, lo que disminuye en un 50% el consumo de petróleo.

Finalmente, para comprobar la viabilidad final del proceso se analizaron muestras del soporte de PVC de la alfombra nueva, sin reciclar y el mismo reciclado más de dos ocasiones. Se analizaron a través de un FIR con el fin de observar si se alteraban los compuestos. Se realizó esto con el fin de determinar si existía alguna modificación en la estructura molecular del PVC y en sus propiedades. Estos resultados se muestran en la figura 1.10.

El espectro de IR del PVC coincide con el de la muestra de PVC reciclado (PVCR). La banda de absorción que se observa aproximadamente en 1700 cm^{-1} corresponde al grupo carbonilo (C=O). Mientras que aproximadamente en 600-700 cm^{-1} corresponde al grupo funcional C-Cl.

La absorción que se observa en 3000 cm^{-1} , corresponde a grupos (OH^-) que probablemente provenga de algún catalizador o de la humedad del medio, sin embargo también la absorción de C-H y este grupo funcional se observa en la estructura química. Esto indica que la muestra de PVC reciclado no ha sufrido modificaciones en su composición ni en sus propiedades.

Figura 1.10 FTIR de PVC reciclado y PVC virgen



Fuente: Elaboración propia

5. Conclusiones y Discusión

En el presente trabajo se muestra un análisis de la sustentabilidad energética del proceso de reciclado de alfombras, principalmente bajo el contexto del mercado nacional. Se realiza primeramente un análisis de las principales tendencias en cuanto a reciclado y producción de alfombras.

Se analizó que la mayoría de los componentes que actualmente tienen las alfombras no son biodegradables y son altamente contaminantes, por lo que no se recomienda su desecho en vertederos.

Se observa que en otros países, principalmente en U.S. U.K. y Alemania se tienen políticas claras que promueven el reciclaje y reutilización de residuos de las alfombras.

Se analizaron diversas acciones planteadas por las industrias manufactureras de alfombras y se muestra que de acuerdo con (CR UK, 2010), una tonelada de alfombra reciclada evita 4.2 toneladas de emisiones de CO_2 al ambiente.

En el caso de México, no existe aún una política que promueva la recolección y reciclado de los residuos de la alfombra, sin embargo, dado el problema de manejo de residuos es importante considerar los procesos de reciclado para evitar tener estos residuos no degradables en vertederos, ya que esto tiene un impacto ambiental muy alto.

Al analizar el consumo energético del proceso de reciclado del PVC del soporte de la alfombra modular este es menos de la mitad del requerido para la producción de este material virgen, lo cual hace energéticamente sustentable el proceso. Esto se debe en gran parte a que se trata de un proceso sencillo que solo implica calentamiento y separación mecánica. Este hecho apoya de manera importante a la economía circular, ya que ésta está basada en la reutilización de los propios materiales en el mismo proceso; esto fue un hecho muy reiterado en el “Vinil plus sustainability forum 2017” en donde se hace énfasis que particularmente el PVC es un material cuya fabricación tiene una huella de carbono importante (Vinilplus, 2017)

Por otro lado, es importante destacar que en el desarrollo del presente proyecto se observó que la loseta vinílica también tiene un alto porcentaje de PVC que tiene potencial para ser reciclado. Es preciso que en el País se desarrolle un proceso logístico de recolección de alfombra y recubrimientos de piso, ya que esto evita que estos residuos lleguen a los tiraderos y ya no puedan someterse a un proceso de reciclado.

Es imprescindible el desarrollo de políticas públicas que obliguen a las empresas productoras de alfombra y recubrimiento de piso a que empleen un porcentaje de material reciclado, como ocurre en US y UK, esto permitirá promover este tipo de técnicas, generará empleo y disminuye el gran impacto ambiental que este tipo de procesos tiene en el medio ambiente.

Agradecimientos

El presente artículo es resultado del proyecto PEI-CONACYT 2017 realizado en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y una empresa de reciclado de alfombras y pisos, establecida en el Estado de México. Dado que se firmó un convenio de confidencialidad hay datos que se omiten en el presente artículo.

Referencias

Aliplast (2018), Tecnología del Plástico, Vol. 22. Diciembre enero 2018.

Al-Salem, S., Lettieri P., Baeyens J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management* 29: 2625-2643.

AM Querétaro (2019), Industria de alfombras superará los 23 mil mdp en México, AM Querétaro Sección negocios, Recuperado el 5 de mayo de 2019 de: <https://amqueretaro.com/negocios/2019/03/31/industria-de-alfombras-superara-los-23-mil-mdp-en-mexico/>

Bird L.(2014) Carpet recycling UK conference. Recuperado el 8 de noviembre del 2017 de: http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/27_percent_landfil_diversion_how_the_UK_exceeded_its_targets

CARE, (2017), CARE 2017 Report, Recuperado el 8 de noviembre del 2017 de: <https://carpetrecovery.org/wp-content/uploads/2014/04/CARE-2017-Annual-Report-FINAL.pdf>

CR UK (2010). Carpet recycling UK, Carpet recycling and Government policy. 2010. Recuperado el 4 de abril del 2019 de http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/Carpet_Recycling_and_Government_Policy_Jan%202010.pdf.

CR (2013); Carpet Industry Sustainability, consultado el 8 de abril de 2019 de: <https://www.carpet-rug.org/About-CRI/CRI-Blog/October-2013/Carpet-Industry-Sustainability-Standard.aspx>

Fiksel, J., McDaniel J. Y Mendenhall C. (1999), Measuring progress towards sustainability principles, process, and best practices, Greening of Industry Network Conference Best Practice Proceedings, 278-291.

García, C. A., Zenón, E., Aguilar, P., Barahona, L. F., Sacramento, J. C., Navarro, F., . . . Morales, F. (2018). *Análisis de Ciclo de Vida de la Bioenergía en México*. Morelia: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Heijungs R., (2013), Settanni E. y Jeroen Guinée (2013); Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC; *Int J Life Cycle Assess* (18):1722–1733.

Hopewell J., Dvorak R, Kosior E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities, *Phil. Trans. R. Soc. B* (364), 2115–2126.

- INEGI (2014), La industria Textil y del Vestido en México 2014, Serie de estadísticas Sectoriales, INEGI-c2014, México.
- ISO. (2006). *ISO 14040:2006(es)*. Recuperado de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Malacara N. (2018) El Problema de los Plásticos en México y el Futuro del Reciclaje. Alto nivel noticias, Recuperado el 25 de mayo del 2019 de: <https://www.altonivel.com.mx/empresas/aguas-con-los-plasticos/>
- MAMRM (2013). Reporte del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea; Documento Breef, 2013; Recuperado el 2 de mayo del 2019 de: <https://www.mapama.gob.es/>.
- Mihut C, Captain DK, Gadala-Maria F, Amiridis MD (2001). Review: recycling of nylon from carpet waste. *Polym Eng Sci* 2001;41:1457–70.
- Paolo F, Editor (2007). *Recycling of PVC and Mixed Plastic Waste*, Chem Tech Publishing, Canada, 19-26.
- Producción de Polímeros (2007), Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). España 2007.
- Realff, M. & Saunders M. (2005) School of Chemical Engineering, Georgia Tech Notes, 3032-0100. Consultado el 8 de enero del 2019 de <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10335/2nd%20-%2030%20realff.pdf>.
- The Carpet and Rug Institute (2003) THE CARPET PRIMER. 2003. Consultado el 5 de diciembre del 2017 de: http://www.carpet-rug.org/Documents/Publications/029_The_Carpet_Primer.aspx
- Sotayo A. , Green S., Turvey G. (2015). Carpet recycling: A review of recycled carpets for structural composites, *Environmental Technology & Innovation Volume 3*: 97–107
- UNEP. (2011). *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making Informed choices of products*. Paris: UNEP.
- United Nations Environment Program (2002), Gas emissions from waste disposal. Consultado el 6 de abril de 2019 de: http://www.grid.unep.ch/waste/html_file/42-43_climate_change.html.
- United States Environmental Protection Agency, Background Document for Life-Cycle Greenhouse Gas Emission Factors for Carpet and Personal Computers. 2003. Consultado el 6 de abril de 2019 de: http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/CarpetPCReport_11_21.pdf.
- Vaidyanathan R, Singh RP, Ley T (2006) Recycled carpet materials for infrastructure applications. Oklahoma: Oklahoma Transportation Centre; 2013.^[1] Wang Y. Carpet recycling technologies. In: Wang Y, editor. *Recycling in textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2006a. p. 58–70.
- Vinilplus (2017) PVC Smart Material, Recuperado el 5 de Agosto del 2019 de: <https://vinylplus.eu/recycling/a-smart-material>
- WRAP (2013), Resource Efficiency in carpet and Yarn Manufacturing, WRAP, 2013. Consultado el 8 de enero de 2019 de: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/WRAPRefurbishmentResourceEfficiencyCaseStudy_CarpetsCarbonWater_v7FINAL.pdf
- Wu, Y., Chen A., Bo L. Wang, Z. (2010) Life Cycle Assessment of regeneration process of waste polyvinyl chorine. *Res. Environ. Sci.* 23, 805-810.
- L. Ye, Qi C., Hong J. and Ma X. (2017), Life cycle assessment of polyvinyl chloride production and its recyclability in China, *Journal of Cleaner Production* (142), Part 4, 2965-2972.

Capítulo 2 Aplicación de las tecnologías móviles al servicio de transporte público para personas con discapacidad en la ciudad de Oaxaca

Chapter 2 Mobile technologies application to the public transport service for people with disabilities at Oaxaca City

MORALES-HERNÁNDEZ, Maricela†*, RAFAEL-PEREZ, Eva, ALTAMIRANO-CABRERA, Marisol y CABALLERO-RAFAEL, Elia

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca.

ID 1^{er} Autor: *Maricela, Morales-Hernández* / **ORC ID:** 0000-0002-3521-2041, **CVU CONACYT ID:** 731036

ID 1^{er} Coautor: *Eva, Rafael-Perez* / **ORC ID:** 0000-0003-2793-1254, **CVU CONACYT ID:** 905268

ID 2^{do} Coautor: *Marisol, Altamirano-Cabrera* / **ORC ID:** 0000-0001-5800-9655, **CVU CONACYT ID:** 65739

ID 3^{er} Coautor: *Elia, Caballero-Rafael* / **ORC ID:** 0000-0002-2741-3994

DOI: 10.35429/H.2019.2.17.34

M. Morales, E. Rafael, M. Altamirano y E. Caballero

moralesh.maricela@gmail.com

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

El presente trabajo tiene la finalidad de divulgar los trabajos realizados por un grupo de profesoras investigadoras del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca con apoyo de los estudiantes. Se aborda la solución a un problema real que se presenta en un grupo de la sociedad vulnerable, como lo es, las personas con discapacidad, el cual es atendido por el DIF del estado de Oaxaca; en este caso, se desarrolla una aplicación móvil y web para control y seguimiento del programa “DIF te lleva”, estas aplicaciones permiten controlar las unidades de transporte adaptadas para las personas con discapacidad y su uso dentro de los límites de la ciudad de Oaxaca y municipios conurbados. Entre las funciones que estas aplicaciones permiten está el registro de los usuarios que mediante una cuota mensual subsidiada pueden hacer uso del servicio de transporte público especializado, el seguimiento del servicio, así como de los conductores de las unidades y las propias unidades del servicio. Así mismo, una funcionalidad muy importante es que la ruta de las unidades se puede visualizar en un mapa de Google, pudiendo en todo momento seguir la ruta de las unidades en tiempo real. Por otro lado, la aplicación web se desarrolló para los administradores del servicio, con el fin de poder obtener bitácoras del uso de las unidades de transporte, las cargas de combustible y el kilometraje recorrido; también se puede controlar las asignaciones de los conductores a las unidades, entre otras funciones. Para el desarrollo del software se utiliza la metodología Scrum y una serie de herramientas de programación tanto para dispositivos móviles como para sistemas web.

Discapacidad, Aplicación móvil, Aplicación web, Scrum

Abstract

The present paper has the purpose of disclosing the works carried out by a group of research professors of the Tecnológico Nacional de Mexico / Instituto Tecnológico de Oaxaca with the students helping. It addresses the solution to a real problem, which occurs in a vulnerable society group, as it is, people with disabilities. This people is attended by the DIF of the state of Oaxaca; In this case, a mobile and web application for control and monitoring of the "DIF takes you" program is developed, these applications allow the control of adapted transport units for people with disabilities and their use within the limits of the city of Oaxaca and Oaxaca conurbations. The applications functionality allow the registration of users who through a subsidized monthly fee can use the specialized public transport service, the monitoring of the service, as well as the drivers of the units, and, the service units themselves. Likewise, a very important feature is that the route of the units can be visualized in a Google map, being able at all times to follow the route of the units in real time. On the other hand, the web application was developed for service administrators, in order to obtain binnacles of the use of transport units, fuel loads and mileage traveled; administrator can also control the assignments of drivers to the units, among other functions. For the development of the software, the Scrum methodology and a series of programming tools are used for both mobile devices and web systems.

Disabilities, Mobil application, Web application, Scrum

1. Introducción

De acuerdo con INEGI, Oaxaca es uno de los estados en los que se encuentra casi un tercio de la población con discapacidad, esto es, 4.6 % del total nacional (INEGI, 2017), lo cual evidencia que se tiene un segmento de la población que pocas veces se considera en los programas de política pública. Instituciones como el DIF (Desarrollo Integral de la Familia) tiene como misión instrumentar, promover y ejecutar programas y acciones de excelencia en materia de asistencia social que aseguren la protección integral de la familia (DIF, 2019), en este marco se han preocupado por mejorar sus servicios en los diferentes programas que opera.

Uno de los programas con los que cuenta el DIF Oaxaca como parte de FOTRADIS (Fondo para la Accesibilidad en el Transporte Público para las Personas con Discapacidad) se denomina “DIF te lleva”. Este servicio de transporte va a dirigido a personas en silla de ruedas, tiene dos modalidades “taxi” y “urban”; sin embargo, la gestión del servicio se ha realizado de forma manual, lo cual ha implicado para la institución datos inconsistentes, falta de control en los gastos operativos del servicio, no conocer el estado que guardan las unidades de transporte y tampoco se conocía con exactitud si las rutas establecidas para el servicio se cubrían al 100 por ciento.

Por lo anteriormente expuesto y dada la importancia que tiene atender un sector vulnerable de la población, como lo son las personas con discapacidades para trasladarse por sí mismos, y estableciendo un trabajo colaborativo con el Instituto Tecnológico de Oaxaca se desarrolló una aplicación móvil para registro de pasajeros, kilometraje del día, cargas de gasolina; también que pueda registrar información sobre la ubicación del dispositivo para su monitoreo y en caso de emergencia un botón de pánico, entre otras funcionalidades; así mismo se desarrolló un tablero de control en ambiente web que permite realizar funciones administrativas sobre la aplicación móvil, tales como: alta o baja de conductores, rutas, unidades, y la asignación de unidad y ruta a un conductor y el historial de las asignaciones. El software también contiene un apartado para generar bitácoras de registros de gasolina y kilometraje inicial de los días de servicio de las unidades de transporte. Los reportes que genera el software web apoyará la toma de decisiones en el servicio que presta el DIF.

El presente trabajo se divide en cinco secciones, en la primera se hace una introducción del mismo donde se explica la problemática y la forma en que se propone resolverla, la segunda sección aborda los fundamentos teóricos en los que se basa el desarrollo del trabajo, haciendo énfasis en la población beneficiada con la implantación del software desarrollado. La tercera sección muestra la metodología a desarrollar en la solución de la aplicación móvil y web, se explica el método de ingeniería de software que se eligió acorde con las necesidades planteadas por el DIF Oaxaca.

La sección cuatro presenta el desarrollo de la aplicación móvil y el tablero de control en ambiente web, es la sección con más amplitud, pues en ella se explica cómo se fue aplicando la metodología Scrum al caso específico del programa “DIF te lleva”, plasmando en cada paso las necesidades que la institución explicó al equipo desarrollador. Es importante hacer notar, que aplicar una metodología presenta diferentes incidencias y no siempre se puede cumplir con exactitud los tiempos acordados; sin embargo, el tipo de metodología utilizada es flexible y en todo momento se encontraron los mecanismos para resolver tales incidencias.

La sección quinta muestra los resultados obtenidos una vez desarrollado el software, el primer producto es la aplicación móvil y el segundo producto es la aplicación web, se explica con detalle las características de cada aplicación.

En la siguiente sección se presentan los agradecimientos a las instituciones que dieron las facilidades para la realización del presente trabajo, así como también a los estudiantes que dentro del marco de colaboración entre el Instituto Tecnológico de Oaxaca y el DIF del estado de Oaxaca colaboraron en el desarrollo del software.

Finalmente se plasman las conclusiones a las que llegó el grupo de autoras del presente trabajo, resaltando la utilidad que para el estado de Oaxaca y el DIF tiene el desarrollo de las aplicaciones móvil y web que permitan el control y seguimiento del programa “DIF te lleva”, redundando en un beneficio para las personas con discapacidad en la ciudad de Oaxaca y sus municipios conurbados.

Al final del documento se encuentran las referencias consultadas durante el desarrollo del presente trabajo.

2. Marco Teórico

2.1. Estructura y composición de la población con discapacidad en Oaxaca

De acuerdo con el estudio “La discapacidad en México, datos al 2014”, publicada por el INEGI, Oaxaca presenta el 4.6 % de personas con discapacidad el total nacional, ocupa el onceavo lugar de la tasa de población con discapacidad, por entidad federativa, con un valor de 65 por cada 1000 habitantes (INEGI, 2017). En el mismo estudio se distribuye por edad el porcentaje de personas con discapacidad considerando el 100 % el total de la población con esta característica; de este modo en la tabla 1 se muestran dichas cifras.

Como puede observarse en la tabla 2.1 la mayor población con esta característica tiene 60 años o más (INEGI, 2017).

Tabla 2.1 Distribución porcentual de la población con discapacidad, según grupo de edad

| Entidad Federativa | Grupo de edad | | | |
|--------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| | Niños (0 a 14 años) | Jóvenes (15 a 29 años) | Adultos (30 a 59 años) | Adultos mayores (60 años y más) |
| Oaxaca | 7.1 | 8.7 | 30.1 | 54.1 |

Fuente: (INEGI, 2017)

De acuerdo con la publicación de INEGI, “Perfil sociodemográfico de la población con discapacidad en el estado de Oaxaca”, la tasa de población de personas con discapacidad en la ciudad de Oaxaca es de 60 personas con discapacidad por cada mil habitantes (INEGI, 2016). En la tabla 2.2 se puede observar la tasa para las diferentes regiones del estado.

Tabla 2.2 Tasa de población con discapacidad por región 2010

| Región | Cantidad (por cada 1000 habitantes) |
|------------------|-------------------------------------|
| Mixteca | 92 |
| Cañada | 69 |
| Sierra Norte | 61 |
| Oaxaca | 60 |
| Sierra Sur | 58 |
| Istmo | 57 |
| Papaloapan | 55 |
| Valles Centrales | 53 |
| Costa | 51 |

Fuente: (INEGI, 2016)

Por otro lado, la atención a grupos vulnerables como personas con alguna discapacidad ya sea de nacimiento o adquirida en algún momento de su vida no está regulada en México, salvo en algunos casos como lo mencionan Tijerina, Rodríguez y Osuna (2018) cuando habla de la norma oficial mexicana NOM-233-SSA1-2003, la cual regula la atención médica ambulatoria y hospitalaria del Sistema Nacional de Salud, para facilitar el acceso, tránsito, uso y permanencia de las personas con discapacidad (DOF, 2013), quedando sin atención otros aspectos que impactan al objetivo de lograr equidad, inclusión y participación de tales personas en todos los ámbitos de la vida en nuestra sociedad.

En un esfuerzo de promover la igualdad entre las personas sin importar grupo o condición social, México hasta el año 2017, ha ratificado su participación en diferentes instrumentos jurídicos internacionales en los que se consagran los derechos económicos, sociales y culturales de los mexicanos. En este marco México está adherido a la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, que en su artículo 9º establece que las personas con discapacidad, deben poder vivir en forma independiente y participar plenamente en todos los aspectos de la vida, los Estados Partes adoptarán medidas pertinentes para asegurar el acceso de las personas con discapacidad, en igualdad de condiciones con las demás, al entorno físico, el transporte, etc (CONEVAL, 2018).

En el estado de Oaxaca, el DIF es una de las instituciones que otorga servicios de asistencia social, entre los cuales se encuentra FOTRADIS, el cual es un proyecto especialmente dirigido al acceso del transporte público a personas con discapacidad y se ha instrumentado a través del programa “DIF te lleva”, este fue puesto en marcha el 30 de agosto de 2018 en la ciudad de Oaxaca y municipios conurbados. Para la operación de dicho servicio también se desarrolló una aplicación móvil con un tablero de control en ambiente web (aplicación web), que facilita la ejecución y seguimiento del servicio.

2.2. Metodologías de desarrollo de software

Los métodos de la ingeniería de software proporcionan la experiencia técnica para elaborar software. Incluyen un conjunto amplio de tareas, como comunicación, análisis de los requerimientos, modelado del diseño, construcción del programa, pruebas y apoyo.

Los métodos de la ingeniería de software se basan en un conjunto de principios fundamentales que gobiernan cada área de la tecnología e incluyen actividades de modelado y otras técnicas descriptivas.

De acuerdo con Roger S. Pressman (2010), el proceso de pruebas se centra en los procesos lógicos internos del software, asegurando que todas las sentencias se han comprobado, y en los procesos externos funcionales, es decir, la realización de pruebas para la detección de errores. Se requiere poder probar el software con sujetos reales que puedan evaluar el comportamiento del software con el fin de proporcionar realimentación a los desarrolladores. Es importante que durante el proceso de desarrollo del software no se pierda contacto con los interesados o solicitantes del desarrollo de software, de esta manera los objetivos del proyecto se mantendrán vigentes y se tendrá una idea clara de los aspectos que tienen que probarse durante el período de pruebas.

De acuerdo con Pantaleo y Renaudo (2015) en su libro de Ingeniería de Software, define la metodología de desarrollo de software como:

Una metodología es un marco de trabajo que puede ser utilizado como guía de las actividades a llevar a cabo. Por lo tanto, una metodología de desarrollo de software no es más que una forma de trabajo para desarrollar software, donde se especifica las tareas a llevar a cabo, los artefactos a generar y las relaciones entre ambos. (Pantaleo y Renaudo, 2015)

Pantaleo y Renaudo (2015) en su mismo libro concluyen que existen diversas metodologías de desarrollo de software con sus ventajas y desventajas y en la realidad no siempre se aplican a pie juntillas, en lugar de ello, se debe elegir la que se adecue al contexto del problema a resolver e incluso puede llegar a crearse una metodología propia a partir de las existentes.

Las metodologías clásicas se han dejado de utilizar con el tiempo, sin embargo, no han caído en la obsolescencia totalmente, ya que a partir de ellas ha surgido un nuevo concepto denominado “metodologías ágiles”.

En el presenta trabajo se hace uso de una metodología ágil denominada SCRUM .

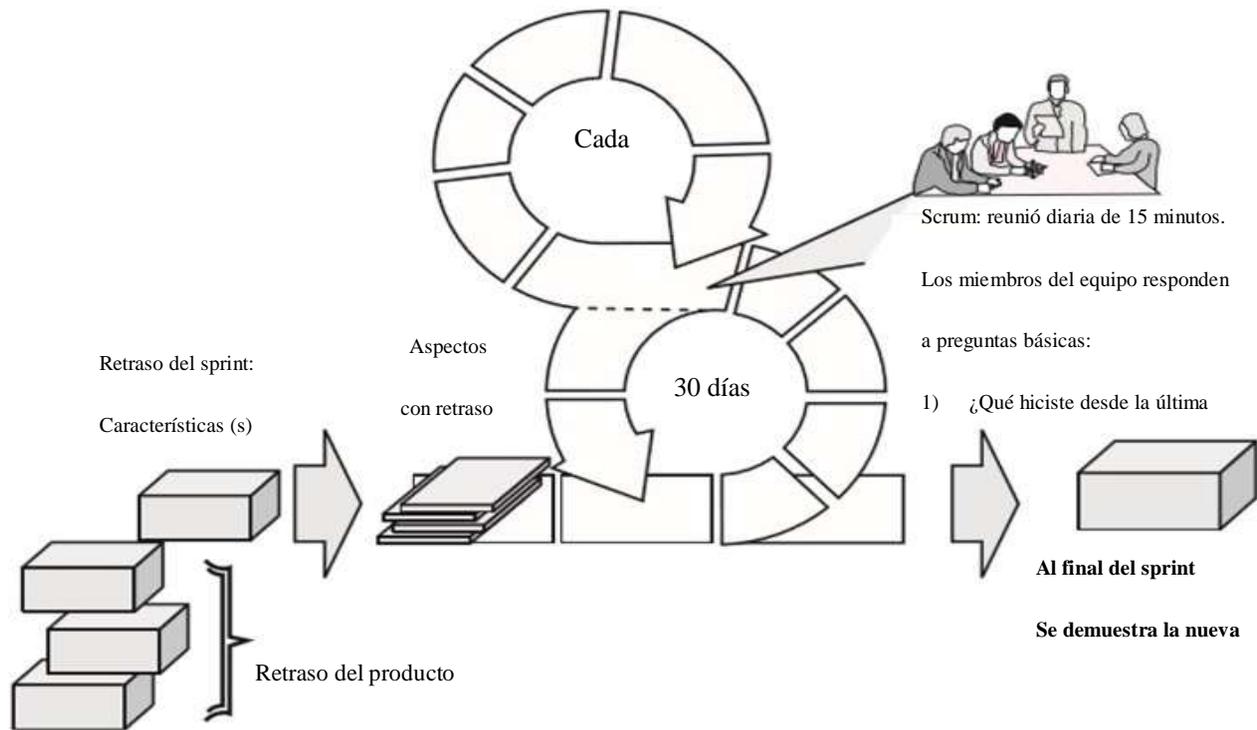
2.3. Metodología Scrum

Existen muchas definiciones y conceptos de Scrum, sin embargo, se ha tomado el que presenta The Blokehead, ya que da una idea clara de los que implica el desarrollo de software utilizando esta técnica. Por definición, el término “Scrum” en la gestión del proyecto se describe como “una estrategia flexible y holística de desarrollo de productos, donde un equipo de desarrollo trabaja como una unidad para alcanzar un objetivo común”. Fue acuñado en 1986 por el profesor de Harvard Hirotaka Takeuchi y por el teórico de organización Ikujiro Nonaka.

Scrum adopta plenamente los principios de los métodos ágiles de desarrollo y los incorpora a la gestión de proyectos. Primero y ante todo, abarca la filosofía de que todos los requisitos están inicialmente sin perfeccionar y son poco claros. Teniendo en cuenta que un conjunto de requisitos de producto claros y a largo plazo no se puede obtener desde el enfoque tradicional de recolección de datos, Scrum se centra en la mejora de la capacidad del equipo de desarrollo para observar y adaptarse a las nuevas exigencias. (Blokehead, 2016)

De acuerdo con Pressman (2010, p. 70), el flujo general del proceso Scrum se ilustra en la figura 2.1.

Scrum enfatiza en el uso de un conjunto de patrones de proceso del software que han resultado eficaces para proyectos cuyas características son: plazo de entrega con poco tiempo, cambios dinámicos en los requerimientos y en negocios críticos. Los patrones antes mencionados definen acciones de desarrollo, las cuales pueden observarse en la figura 1.1. Las acciones son: retraso, sprints, reuniones y demostraciones preliminares. En el caso de retraso se refiere a una lista de prioridades de los requerimientos, los cuales pueden ir cambiando de tal forma que el gerente del proyecto los evalúe y determine si los cambios son procedentes, actualizando las prioridades según sea requerido (Pressman, 2010, p. 70).

Figura 2.1 Flujo del proceso scrum

Fuente: (Pressman, 2010)

Los sprints consisten en unidades de trabajo que se necesitan para alcanzar un requerimiento definido en el retraso, estableciendo un tiempo predefinido (lo común son 30 días), es importante hacer notar que durante el sprint no se hacen cambios y con ello se logra un trabajo a corto plazo pero estable. (Pressman, 2010, p.70).

Las reuniones Scrum son reuniones breves (15 minutos) que se efectúan diariamente, existe un líder del equipo de desarrollo llamado maestro Scrum quien dirige las reuniones. Finalmente las demostraciones preliminares consisten en entregar el incremento del software al cliente para su evaluación, desde luego, la funcionalidad completa solo podrá ser entregada en el tiempo establecido para el proyecto, las demostraciones preliminares van mostrando la funcionalidad paulatinamente (Pressman, 2010, p. 71).

2.4. Herramientas de Scrum

El método Scrum proporciona una serie de herramientas que apoyan el desarrollo del software, según Subra y Vannieuwenhuyse, dichas herramientas son: Back Log del producto, Back Log del Sprint y seguimiento del progreso (2018, p.52). En los siguientes párrafos se describe cada uno de ellos.

El Backlog del Producto, también llamado Backlog contiene la expresión de las necesidades del propietario del producto, traducidas en forma de historias de usuario, éstas se ordenan según los criterios definidos por el propietario del producto, abordando cada historia de usuario en el orden definido, por lo que el backlog del producto es un requisito previo de cualquier proyecto Scrum (2018, p.52).

El Backlog del Sprint es la lista de las historias de usuario del Backlog del producto antes de trabajarse en el sprint. Cada historia de usuario se descompone en tareas antes de que el equipo de desarrollo las resuelva. Normalmente el Backlog del sprint se representa en un tablero en el que se añaden tarjetas correspondientes a las historias de usuario y tareas asociadas agregando los diferentes estados de las tareas (pendiente, en desarrollo o finalizado) (2018, p.52).

Con el afán de que un proyecto Scrum tenga transparencia y la comunicación fluida entre los miembros del proyecto, es fundamental establecer los medios que permitan realizar un seguimiento al progreso del equipo desarrollador, respecto al objetivo del Sprint (2018, p. 53)

2.5. Aplicación móvil

Las aplicaciones móviles han cobrado importancia en los últimos años, de tal forma que muchas aplicaciones que sólo podían ejecutarse en una computadora de escritorio o portátil, ahora se pueden ejecutar en dispositivos móviles como lo son teléfonos inteligentes o tabletas, un concepto de aplicación móvil se presenta a continuación.

Una aplicación móvil es un programa que se puede descargar y al que puede acceder directamente desde su teléfono o desde algún otro aparato móvil – como por ejemplo una tableta. Actualmente encontramos aplicaciones de todo tipo, forma y color, pero en los primeros teléfonos, estaban enfocadas en mejorar la productividad personal: se trataba de alarmas, calendarios, calculadoras y clientes de correo (Cuello y Vittone, 2013).

Con el ingreso de iPhone al mercado se generaron nuevos modelos de negocio, en los que aparecieron las aplicaciones, pudiendo cobrar por su uso, siendo este un negocio rentable tanto para los desarrolladores como para los mercados de aplicaciones como App Store, Google Play y Windows Phone Store (Cuello y Vittone, 2013).

3. Metodología a desarrollar

Como se aborda en la sección anterior del marco teórico, se aplica la metodología de desarrollo de software Scrum, esta metodología ofrece ciertas ventajas para el tipo de problemática a resolver, ya que permite establecer metas en periodos de tiempo cortos, y principalmente que se involucra como parte del equipo de desarrollo al cliente, garantizando de esta manera que los requisitos sean los correctos. En la siguiente sección se desarrolla paso a paso la metodología aplicada, mostrando los sprints correspondientes de acuerdo con los requisitos identificados, así como el equipo de trabajo, los roles y las actividades encomendadas a cada uno.

4. Desarrollo de las aplicaciones móvil y web

Como se aborda en el marco teórico, se eligió la metodología de desarrollo ágil Scrum, en los siguientes párrafos se describe la forma en que se fue trabajando bajo dicha metodología.

4.1. Planeación-Definición de roles

La primera tarea en la planeación es la definición de roles, en la tabla 2.3 se muestran los roles del equipo Scrum, en donde, el “Scrum Master” se encarga de que el desarrollo esté tomando un rumbo adecuado, es decir, que todos los integrantes del equipo tengan lo necesario para poder cumplir con el rendimiento deseado para el desarrollo de éste, el “Scrum Manager” es quien toma las decisiones estratégicas del proyecto, y el “Team Scrum” es la mano de obra para el desarrollo.

Tabla 2.3 Roles del equipo Scrum

| Integrante | Cargo | Rol |
|-----------------|--------------------|---------------------------|
| Luis Alberto | Jefe de desarrollo | Scrum Master |
| Raciel Jonathan | Desarrollador | Team Scrum y Scrum Master |
| Jose Luis | Desarrollador | Team Scrum |
| Angel Brian | Desarrollador | Team Scrum |
| Maricela | Asesora | Team Scrum |
| Eva | Asesora | Team Scrum |
| Marisol | Asesora | Team Scrum |
| Elia | Asesora | Team Scrum |

Fuente: Elaboración propia

4.2. Plan Inicial de Proyecto

En la tabla 2.4 se refleja la planeación que se elaboró para desarrollar la aplicación móvil y la aplicación web, en esta tabla se pueden observar las tareas identificadas, así como los responsables de su realización, las fechas planificadas para tal fin y el número de días estimado para su ejecución, es importantes hacer notar que no siempre los tiempos planificados se pueden lograr; sin embargo, la ventaja de la metodología Scrum es poder ajustar los tiempos para lograr metas inmediatas y que no consuman mucho tiempo para lograr la entrega de los resultados esperados.

Tabla 2.4 Plan inicial de proyecto

| Nombre de la tarea | Responsable | Fecha inicio | Fecha final | Días |
|--|-----------------------------------|---------------|---------------|------|
| Análisis requerimientos y tareas módulo FOTRADIS | Calvillo, Eva | 12-abril-2018 | 18-abril-2018 | 5 |
| Base de datos | Calvillo, Márquez, Reyes, Marisol | 19-abril-2018 | 25-abril-2018 | 5 |
| Crud pasajeros FOTRADIS | Reyes y Maricela | 26-abril-2018 | 2-may-2018 | 5 |
| Crud rutas FOTRADIS | Reyes y Marisol | 3-may-2018 | 9-may-2018 | 5 |
| Crud conductores FOTRADIS | Marquez y Maricela | 10-may-18 | 16-may-2018 | 5 |
| Aplicación móvil FOTRADIS | Calvillo, Reyes, Márquez y Elia | 10-may-2018 | 29-may-2018 | 14 |
| Control de rutas y pasajeros FOTRADIS | Reyes y Eva | 30-may-2018 | 5-jun.-2018 | 5 |
| Control de unidades FOTRADIS | Márquez y Elia | 6-jun.-2018 | 14-jun.-2018 | 7 |
| Generación de reportes FOTRADIS | Reyes, Maricela y Eva | 12-jul.-2018 | 16-jul.-2018 | 3 |

Fuente: Elaboración propia

4.3. Historias de proceso

Una vez que se han establecido las tareas, se procede al análisis de los procesos que actualmente se tienen en la institución y se plasman en las historias de proceso, instrumentos que apoyan en la resolución de las funcionalidades tanto de la aplicación como del tablero de control web. Identificadas las historias de proceso, se dividen éstas en sprints, para este caso las historias se han dividido en dos sprints; en cada una de las historias se indica en qué sprint se resuelve.

A manera de ejemplo se muestran solo dos historias de proceso, la tabla 2.5 refleja la autenticación del conductor para ingresar a la aplicación, siendo el administrador quien le asigne la clave y contraseña para su ingreso. Mientras la tabla 2.6, muestra la historia de proceso que resuelve la información sobre la ubicación del dispositivo móvil en donde se encuentra activa la app móvil, con la finalidad de tener un seguimiento puntual del recorrido del as rutas de las unidades que proporcionan el servicio de transporte público para el programa “DIF te lleva”.

Tabla 2.5 Historia de proceso “Acceso Conductor”

| | |
|---|---------------------------|
| Backlog ID: HPM-1 - Acceso conductor | |
| Funcionalidad principal: Brindar acceso personalizado a cada conductor. | |
| Sprint: 1 | Usuario: Conductor |
| Funcionalidad | |
| Logueo del conductor | |
| Mostrar la ruta, unidad y datos del conductor asignados por el administrador | |
| Pruebas de aceptación | |
| El conductor deberá ingresar las credenciales asignadas y válidas, para tener acceso a toda la funcionalidad. | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6 Historia de proceso “Enviar localización”

| | |
|--|---------------------------|
| Backlog ID: HPM-2 - Enviar localización | |
| Funcionalidad principal: Mandar la ubicación del dispositivo. | |
| Sprint: 1 | Usuario: Conductor |
| Funcionalidad | |
| Mandar/Registrar ubicación detectada. | |
| Pruebas de aceptación | |
| El registro de ubicación estará conformado por la siguiente información latitud, longitud, dirección y unidad. | |

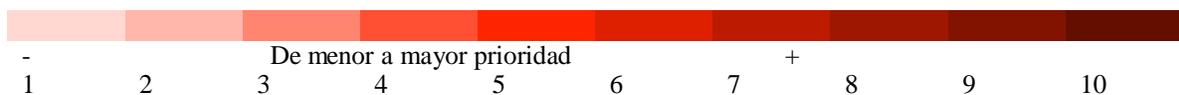
Fuente: Elaboración propia

De forma similar se desarrollaron el resto de las historias de proceso identificadas para el sistema web y la aplicación móvil.

4.4. Backlog del producto

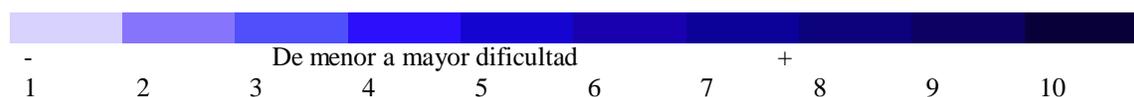
Con base en los requerimientos y los alcances definidos previamente, a continuación, se presenta el backlog del producto, es el equipo de desarrollo quien define la dificultad y prioridad de las tareas con el fin de asignar tiempos y presentar avances al cliente.

La prioridad que se establece, en este caso, se presenta en la tabla 2.7, se hace una estimación en un rango de 1 a 10, asignándole un valor a cada tarea según la importancia del cliente y el avance que se va dando en la programación.

Tabla 2.7 Prioridades de los módulos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

La dificultad que presenta cada requisito es un valor estimado de 1 a 10 con base en el tamaño del módulo y a los conocimientos del Scrum Team, de tal suerte que la tabla 2.8 muestra dicha estimación.

Tabla 2.8 Dificultades de los módulos del proyecto

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.9 se muestra el backlog generado para el desarrollo de la aplicación móvil y la aplicación web que es el tablero de control, puede notarse que un desarrollo de software siempre tiene cierta dificultad y que se deben atender las prioridades del cliente para poder generar esta información, y en este sentido Scrum tiene la gran ventaja de ser una metodología flexible que se adapta a muy diferentes contextos de trabajo y experiencia del equipo desarrollador.

Las abreviaturas que se usan en el Backlog son las siguientes:

HPW - Historias de usuario web

HPM - Historias de usuario móvil

Tabla 2.9 Backlog del producto

| # | Backlog ID | Ítem | Días estimados | Días reales | Prioridad | Dificultad |
|----|------------|--|----------------|-------------|-----------|------------|
| 1 | HPM-1 | Acceso conductor | 2 | 2 | 7 | 6 |
| 2 | HPM-2 | Mandar localización | 3 | 2 | 5 | 7 |
| 3 | HPM-3 | Registro de pasajeros | 3 | 3 | 10 | 6 |
| 4 | HPM-4 | Kilometraje inicial | 3 | 2 | 6 | 5 |
| 5 | HPM-5 | Cargas de gasolina | 3 | 2 | 6 | 5 |
| 6 | HPM-6 | Señal de auxilio | 5 | 3 | 5 | 4 |
| 7 | HPW-7 | Logística FOTRADIS | 7 | 7 | 10 | 10 |
| 8 | HPW-8 | Bitácora de cargas de gasolina y kilometraje del día | 7 | 7 | 8 | 9 |
| 9 | HPW-9 | Administrar rutas | 5 | 4 | 7 | 10 |
| 10 | HPW-10 | Administrar conductores | 5 | 3 | 7 | 8 |
| 11 | HPW-11 | Administrar unidades | 5 | 5 | 7 | 8 |

Fuente: Elaboración propia

4.5. Ejecución

En esta etapa se llevan a cabo las actividades definidas anteriormente. También se realizan reuniones, donde los usuarios evalúan las funcionalidades mostradas y se modifica la actividad en caso de ser necesario.

Con base en los requerimientos tratados en las reuniones y el backlog mostrado en la sección anterior el equipo de desarrollo determina la creación de los sprint, tomando en cuenta la dificultad y la prioridad de las tareas.

De este modo las responsabilidades del gestor de producto son:

- Asistir a las reuniones en las que el equipo elabora la pila del sprint.
- Resolver dudas sobre las historias de proceso que se descomponen en la pila del sprint.

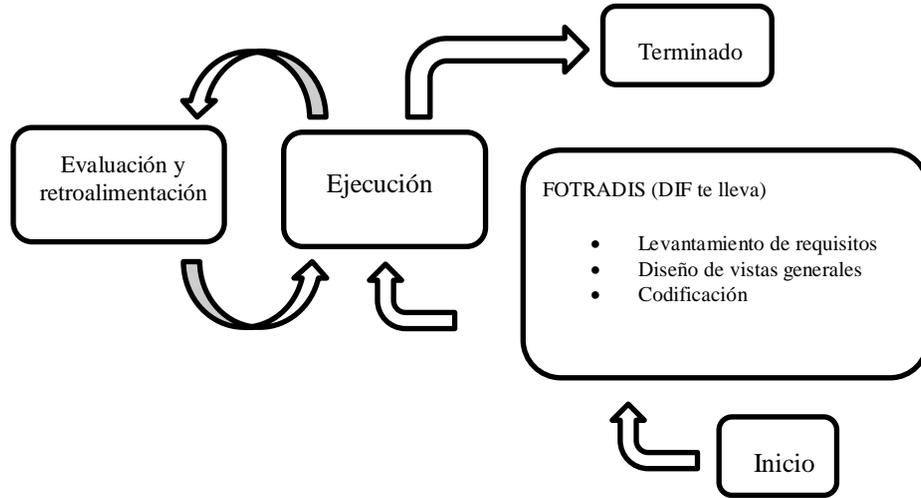
Mientras la responsabilidades de los integrantes del equipo de desarrollo son:

- Elaboración de la pila de sprint.
- Supervisión de las actividades.
- Reuniones y aclaraciones con el cliente.

En la figura 2.2 se muestra de manera general el flujo para llevar a cabo el sprint uno y a continuación se define la lista de tareas del sprint.

El desarrollo del sprint se basa en el programa FOTRADIS, que está integrado por un servicio llamado “DIF te lleva” el cual consiste en brindar transporte (taxi y urban) personalizado dirigido a personas en sillas de ruedas, la directora de discapacidad solicita el desarrollo de una aplicación móvil para el registro de pasajeros.

Figura 2.2 Ciclo del sprint 1



Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo esta aplicación, se realizan reuniones en donde se obtiene la siguiente información:

- Cada chofer va a tener una tableta (no siempre es la misma).
- El conductor ingresa sus credenciales para tener acceso a la aplicación durante cada jornada.
- Una vez que el conductor inicia la sesión, puede visualizar el servicio, ruta y la unidad asignadas (Esto depende de la asignación que realiza el administrador desde la aplicación web, Sprint 2).
- Cada vez que un beneficiario hace uso del servicio, el conductor debe registrarlo, según la clave del pasajero y se activa un proceso de verificación de la clave proporcionada.
- En el servicio de urban se registra la ubicación donde el pasajero fue registrado.
- El servicio de taxi registra el recorrido que realiza el conductor al momento de estar ocupado.
- El conductor debe registrar el kilometraje inicial de la jornada.
- El conductor debe registrar las cargas de gasolina realizadas durante la jornada.

En la Tabla 2.10 se puede ver el backlog del sprint 1, donde se describen las características de las historias de proceso.

Tabla 2.10 Backlog del Sprint 1

| Backlog ID | Tarea | Tipo | Estatus |
|------------|-----------------------------|----------------|-----------|
| HPM-1 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPM-2 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPM-3 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPM-4 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPM-5 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPM-6 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |

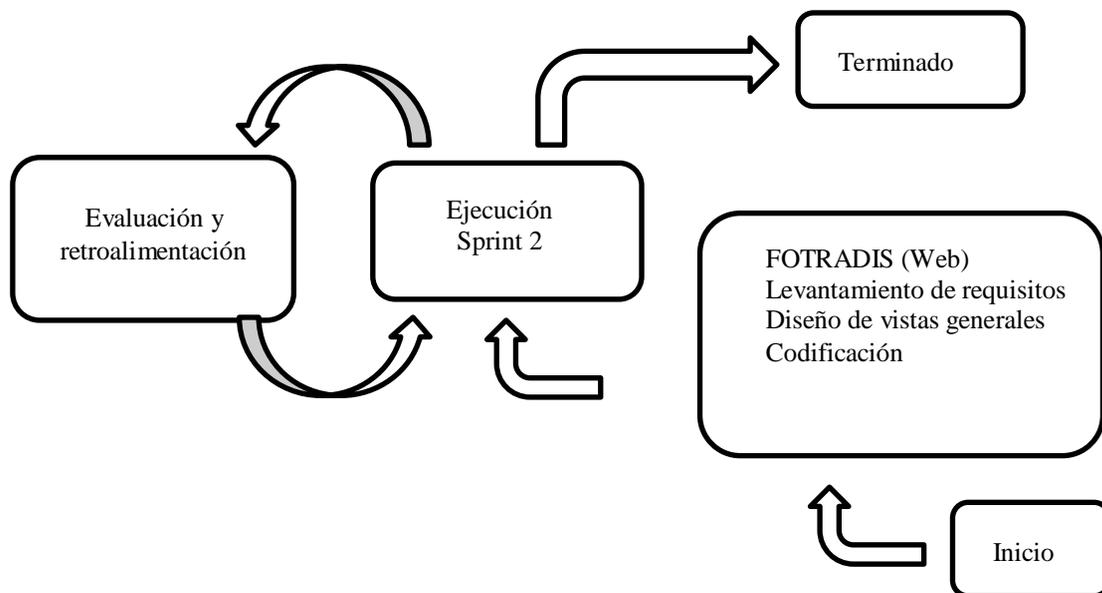
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.3 se muestra de manera general el flujo para llevar a cabo el sprint dos y a continuación se define la lista de tareas del sprint.

En este sprint se desarrolla la parte web del programa “DIF te lleva”, que corresponde al proyecto FOTRADIS, en el cual se lleva la parte administrativa de lo obtenido en el sprint anterior. Por medio de reuniones con los usuarios que usan este apartado se obtuvo lo siguiente:

- El usuario le asigna a un conductor una ruta y una unidad, así como la clave de acceso a la aplicación móvil.
- Una vez adquiridos los datos de ubicación de los dispositivos (tabletas) son proyectadas con Google Maps.
- Cuando se registran pasajeros, se visualiza en tiempo real.
- El usuario puede generar una bitácora con respecto a un rango de fechas, y la unidad correspondiente, en esta se plasman los registros de carga de gasolina y de kilometraje.
- El usuario puede dar de alta/baja o actualizar rutas, unidades y conductores.

Figura 2.3 Ciclo del Sprint 2



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.11 se describen las características de las historias de proceso correspondientes al Sprint 2 y que se refieren a la aplicación web de control administrativo del programa “DIF te lleva”, donde el administrador puede realizar tareas como dar de alta o baja a los conductores, asociar a los conductores con las rutas, o a los conductores con las unidades que manejan, etc.

Tabla 2.11 Backlog del Sprint 2

| Backlog ID | Tarea | Tipo | Estatus |
|------------|-----------------------------|----------------|-----------|
| HPW-7 | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPW-8 | Levantamiento de requisitos | Análisis | Terminado |
| | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPW-9 | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPW-10 | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |
| HPW-11 | Diseño de vistas generales | Diseño | Terminado |
| | Codificación | Implementación | Terminado |

Fuente: Elaboración propia

5. Resultados

De acuerdo con la metodología Scrum, al finalizar cada sprint, se evalúa un producto funcional y a partir de ese momento se puede iniciar su utilización.

Los resultados no son más que la terminación de las actividades que conforman cada sprint. Es el “Owner product” o propietario del producto quien determina si las funcionalidades proyectadas se han terminado o si requieren algún cambio.

En este trabajo, se obtuvieron dos aplicaciones como resultado de los requisitos planteados por el cliente:

1. Aplicación móvil
2. Aplicación web

5.1. Aplicación móvil

Cuando la aplicación móvil se ejecuta, le muestra al usuario una pantalla de bienvenida como la que se ilustra en la figura 2.4; en la misma pantalla aparece la indicación “TOCA LA IMAGEN PARA CONTINUAR”, al realizar esta acción, la aplicación muestra la pantalla ilustrada en la figura 2.5 en la que se debe ingresar la clave del conductor, la cual ha sido asignada previamente por el administrador de la aplicación.

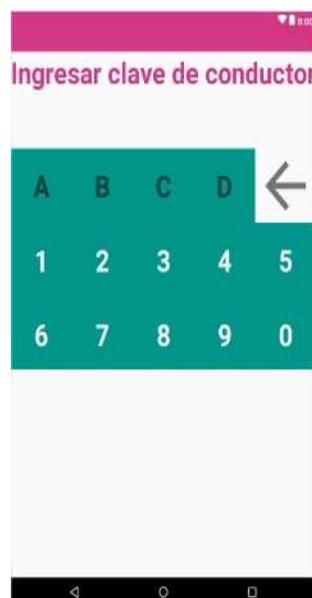
Para tener acceso a todas las funcionalidades de la aplicación móvil, se deben ingresar las credenciales de acceso del conductor.

Figura 2.4 Pantalla de bienvenida de la Aplicación Móvil



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.5 Pantalla de ingreso de la clave del conductor



Fuente: Elaboración propia

Una vez ingresada alguna clave válida se envía la ubicación del dispositivo móvil (para ser monitoreado por el administrador). Enviada la ubicación, el conductor puede registrar a los pasajeros que hacen uso del servicio de transporte público. Para ello se despliega la pantalla que se ilustra en la figura 2.6.

La aplicación móvil también cuenta con información del estado que guarda el servicio del usuario registrado previamente en las oficinas del DIF Oaxaca, dicha información puede ser mostrada si el conductor la requiere para verificar la vigencia del servicio.

La ventana que despliega la aplicación móvil para este fin se ilustra en la figura 2.7.

Figura 2.6 Registro de pasajeros



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.7 Datos del usuario del servicio



Fuente: Elaboración propia

Cuando el servicio de transporte se categoriza como taxi; es decir, el servicio es personalizado y el usuario indica el origen y destino del traslado, en este caso, la aplicación móvil muestra las pantallas que indican el inicio y fin del recorrido.

La aplicación cuenta con las funcionalidades descritas en el backlog tanto del Sprint 1 como del Sprint2. A manera de ejemplo se muestra la pantalla del conductor, la cual también tiene un menú con las acciones “Registrar carga de gasolina” y “Registrar kilometraje del día”, como se muestra en las figuras 2.8 y 2.9, también se tiene la opción de “Cerrar sesión”.

Figura 2.8 Pantalla para registrar cargas de gasolina



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.9 Pantalla de registro de kilometraje del día



Fuente: Elaboración propia

5.2. Aplicación web

La aplicación web fue desarrollada para el administrador del programa “DIF te lleva”, la finalidad es que éste pueda llevar un control y seguimiento del servicio, en la figura 2.10 se muestra la opción “Monitoreo y Asignación”, aquí pueden observarse indicadores como la cantidad de beneficiarios activos, quienes se registraron durante el día y el mes, así como de la ruta más recorrida. Estos datos son proporcionados por los registros hechos desde la aplicación móvil; también se visualizan las asignaciones por conductor, número de unidad, clave de acceso a la aplicación móvil, inicio de sesión, servicio que proporciona, estatus del servicio, la ruta y la opción de eliminar asignación.

Figura 2.10 Monitoreo y asignación de unidades

| # | Unidad - EL | Conductor | Clave Conductor | Sesión Aplicación Móvil | Servicio | Estatus Servicio | Recorrida | Eliminar |
|---|-------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|----------|------------------|------------------|----------|
| 1 | | ALEJANDRO SAMAR MURAT HENQUEZ | 001 | NO INICIA | SIEMPRE | TERMINA | 00 - 000 | X |
| 2 | | IVETTE MORÁN DE MURAT | 002 | NO INICIA | SIEMPRE | TERMINA | 00 - 000 | X |
| 3 | | CHRISTIAN HOLAN RODRIGUEZ | 003 | NO INICIA | SIEMPRE | TERMINA | 00 - 000 | X |
| 4 | | NANCY GABRIELA MÉNDEZ AVILA | 004 | NO INICIA | SIEMPRE | TERMINA | 00 - 000 | X |
| 5 | | GUILERMO REYES POBLES | 005 | USUARIO | SIEMPRE | TERMINA | 00 - 000 | X |
| 6 | | SABAS JESÚS RAMOS CARRO | 006 | NO INICIA | SIEMPRE | TERMINA | 11:00 - 11:30:00 | X |
| 7 | | JOSE LUIS DIAZ RUIZ | 007 | NO INICIA | SIEMPRE | TERMINA | 00 - 000 | X |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.11 se ilustra el proceso de monitoreo de las unidades y su visualización virtual en un mapa de google, con información de la unidad, la ruta, conductor, entre otros datos proporcionados desde la aplicación móvil.

Figura 2.11 Monitoreo de unidades



Fuente: Elaboración propia

El mapa completo de rutas y paradas oficiales del servicio “DIF te lleva” también se puede conocer desde la aplicación web, en la figura 2.12 se muestra este mapa.

Figura 2.12 Rutas y paradas oficiales del servicio “DIF te lleva”



Fuente: Elaboración propia

También se pueden obtener bitácoras por unidad de transporte, a partir de la información proporcionada por la aplicación móvil, la vista que se genera se puede ver en la figura 2.13.

Figura 2.13 Bitácora de unidad de transporte

DIF TE LLEVA Fondo para la Accesibilidad en el Transporte Público para las Personas con Discapacidad

BITÁCORA UNIDAD 10

PERIÓDO 2018/07/01 - 2018/09/09

Tabla de kilometrajes

| Receptor | Fecha | km | conductor | odómetro |
|----------|--------------------------|-------|--------------------|----------|
| 1 | 2018-07-20T03:20:13.679Z | 10.56 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 2 | 2018-07-20T12:54:05.317Z | 10.59 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 3 | 2018-07-24T03:49:07.872Z | 108.8 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 4 | 2018-07-24T22:19:47.010Z | 100.6 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 5 | 2018-07-25T19:59:36.046Z | 109.0 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 6 | 2018-07-26T19:59:12.624Z | 111.0 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 7 | 2018-07-27T21:53:15.381Z | 111.7 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 8 | 2018-07-28T22:01:22.091Z | 1126 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |
| 9 | 2018-07-30T18:21:40.888Z | 1148 | MARIA CRUZ MEHESES | Odómetro |

Tabla de cargas de gasolina
No hay datos disponibles

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la aplicación web tiene la capacidad de ir almacenando un historial de asignaciones de conductores a las unidades para cualquier aclaración posterior o incidencia que se presente al respecto.

Las pantallas mostradas son algunos ejemplos de las funcionalidades que contiene la aplicación web, existen otras como: alta y baja de conductores, modificación de rutas, alta y baja de unidades, alta y baja de usuarios.

6. Agradecimiento

Las autoras del presente capítulo agradecemos el apoyo brindado por el Tecnológico Nacional de México, que a través del Instituto Tecnológico de Oaxaca nos brindaron las facilidades para desarrollar el trabajo plasmado en estas líneas. Así mismo le agradecemos al DIF-Oaxaca por su invaluable apoyo en la solución de una problemática real y que en este momento se hace palpable en un servicio a la sociedad para un grupo vulnerable que poca atención recibe de los diferentes sectores gubernamentales. Finalmente queremos agradecer a los jóvenes Márquez Mijangos Raciél Jonathan, Reyes Ramírez Angel Brian y Velázquez Calvillo José Luis que participaron en las actividades de este trabajo, ya que coadyuvaron a realizar un trabajo que tiene un impacto social importante.

7. Conclusiones

La población con discapacidad es un segmento vulnerable en nuestra sociedad y existe poca o nula atención por parte de las entidades gubernamentales y sociedad en general hacia ellos; por lo que se torna muy importante e interesante la atención que el DIF Oaxaca brinda a estos grupos vulnerables. En la vida cotidiana, es muy común observar que la población en general no tiene cultura sobre el respeto hacia la poca infraestructura que existe para personas que no pueden desplazarse por sí mismas, en este trabajo hemos revisado diferentes trabajos que plasman los esfuerzos por incluir a este sector no solo en nuestro país, sino, en diferentes países, notando que existen propuestas interesantes, de las cuales se han tomado algunas ideas que complementan el trabajo desarrollado en este documento; como por ejemplo, una vivienda adecuada para personas que se desplazan en silla de ruedas, como lo indican en dichos trabajos que han sido referenciadas en el grueso del documento, el tipo de vivienda funcional para personas con discapacidad no ha sido considerada por las compañías constructoras de vivienda por no parecerles atractivas las ganancias que pudieran obtener. Sin embargo, como profesionales y como investigadores, se tiene el compromiso de construir una sociedad incluyente y justa. Donde todas las personas puedan realizar sus actividades cotidianas de forma fácil, sencilla y práctica.

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de aplicar tecnologías de información a un proceso que redundará en el beneficio de personas con discapacidad, el programa fue inaugurado el 30 de agosto de 2018, y de acuerdo con el diario El Imparcial de Oaxaca existen 260 mil personas con discapacidad en nuestro estado, y con problemas de movilidad y acceso a las rutas públicas normales.

Las aplicaciones web y móvil, actualmente, se están utilizando en el servicio de transporte público especializado para las personas con discapacidad que ofrece el DIF delegación Oaxaca, a través de un programa específico de esta entidad gubernamental llamado “DIF te lleva”. Con lo anterior, se contribuye a mejorar las condiciones y calidad de vida para este sector de nuestra sociedad que aún continúa siendo discriminado por falta de infraestructura para su desplazamiento.

8. Recomendaciones

Se propone que estas aplicaciones funcionen en esta primera etapa como piloto y, a partir de los resultados obtenidos pueda ser replicada en otras entidades, ya que sus funcionalidades permiten agilizar la atención a estas personas y les permite llevar a cabo sus actividades de forma más sencilla y práctica, pues solo requieren presentar una tarjeta con sus datos de identidad, esta tarjeta también específica qué servicios le brinda el DIF al usuario, de este modo, pueden abordar las unidades de transporte especializadas para desplazarse con mayor facilidad a sus consultas médicas, terapias, entre otras actividades.

9. Referencias

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2018). Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa 2018. Ciudad de México: CONEVAL.

Cuello, J y Vittone, J. (2013). Diseñando apps para móviles. Argentina: José Vittone - Javier Cuello.

DIF (2019). ¿Quiénes somos?. Nuestra misión, nuestra visión. Oaxaca, Mexico: DIF Oaxaca. Recuperado de <http://difoaxaca.gob.mx/>

INEGI (Ed.).(2016). Perfil sociodemográfico de la población con discapacidad en el estado de Oaxaca. Ciudad de México, México: INEGI.

INEGI (Ed.). (2017). La discapacidad en México, datos al 2014. Versión 2017. Ciudad de México, México: INEGI.

Narvaéz, A., Fitch, J.M. y Vásquez, G. (2018). Dimensiones de la adaptación de las viviendas para personas con discapacidad en México: Tres estudios de caso.

Pantaleo, G. y Rinaudo, L. (2015). Ingeniería de software. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

Pressman, R.S. (2010). Ingeniería del software: Un enfoque práctico. Séptima Edición. México: McGraw Hill-Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Subra, J.P. y Vannieuwenhuyse, A. (2018). Scrum Un método ágil para sus proyectos. Barcelona, España: Ediciones ENI.

The Blockhead. (2016). Scrum - ¡Guía definitiva de prácticas ágiles esenciales de Scrum!. USA: Babelcube Inc.

Capítulo 3 Desarrollo de sistema de control de reactivos con base en la inspección de la superficie de la espuma y su relación con el monitoreo del flujo de ganga en una columna de flotación

Chapter 3 Development of reagent control system based on the inspection on the surface of the froth and its relationship with the monitoring of the tail flow in a flotation column

ESTRADA-RUIZ, Rosa Hilda†*¹, FLORES-CAMPOS, Rubén², VELARDE-SÁNCHEZ, Emma Julia¹ y MARTÍNEZ-CARRILLO, Diego³

¹*Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Saltillo. Departamento de Posgrado e Investigación.*

²*TERMOPLÁSTICOS REMI S.A. de C.V.*

³*Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la U.A. de C.*

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

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

ID 2^{do} Coautor: *Emma Julia, Velarde-Sánchez*

ID 3^{er} Coautor: *Diego, Martínez-Carrillo* / **ORC ID:** 000-0002-6695-9746, **CVU CONACYT ID:** 43163

DOI: 10.35429/H.2019.2.35.49

R. Estrada, R. Flores, E. Velarde y D. Martinez

rhestrada@itsaltillo.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Diaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

Este artículo presenta la propuesta de dos sistemas de monitoreo que hacen uso de sistemas de visión artificial para detectar si el proceso de flotación de carbón se encuentra operando eficientemente. Estos sistemas inspeccionan la superficie de la espuma y el flujo de colas. Se creó una interfaz gráfica para el monitoreo, así como un sistema de control de adición de reactivos. Cuando se detecta una falla en la operación, la cual se ve reflejada en la velocidad de la espuma o en la tonalidad del flujo de colas, se activa una alarma en el sistema de control para que el operador pueda agregar los reactivos típicos en la flotación, tales como espumante y colector. Estos son variables muy importantes en el proceso y son los más comúnmente utilizados para mejorar la recuperación de mineral valioso. Para llevar a cabo esto, se programó una interfaz en Matlab que fue enlazada al sistema de visión; se programaron las técnicas de análisis y el sistema de control de reactivos. Para esto, se construyó un sistema de control de dosificación de reactivos con una tarjeta Arduino Uno, un circuito de disparo y dos bombas peristálticas. Empleando una columna de flotación de laboratorio completamente instrumentada y con dos sistemas de visión instalados, uno en el flujo de colas y el otro en la parte superior de la columna para adquirir imágenes de la superficie de la espuma, fue posible relacionar la recuperación de sólidos con la velocidad de la espuma y con la tonalidad del flujo de colas. Para obtener diferentes recuperaciones de mineral se varió la altura de la cama de espuma, detectando que cuando hay altas recuperaciones de mineral la espuma es fluida y presenta un promedio de intensidad de píxel de 30 en el flujo de colas, donde 0 es negro y 250 blanco. Por el contrario, cuando hay bajas recuperaciones, se presenta una espuma estática y viscosa, y una tonalidad de 10 muy cercana a negro, lo cual indica que el mineral valioso se pierde en este flujo.

Visión artificial, Monitoreo, Control, Columna de flotación

Abstract

This paper presents the proposal of two monitoring systems that make use of artificial vision systems to detect if the coal flotation process is operating efficiently. These systems inspect the froth surface and the tail flow. A graphical interface for monitoring was created, as well as a reagent addition control system. So when a fault is detected in the operation, which can be reflected in froth velocity or in the tonality of the tail flow, an alarm is activated to the control system so that the operator can add typical reagents in flotation, such as frother or collector, these They are very important variables in the process and are the most commonly used to improve recoveries of valuable ore. To achieve this an interface was programmed in Matlab that was linked to the vision system; the image analysis techniques and the reagent control system were programmed. For this, a dosing control system with an Arduino Uno card, a trigger circuit and two peristaltic pumps was built. Using a fully instrumented laboratory flotation column and with two vision systems installed, one in the tail flow and the other at the top of the column to acquire images of the froth surface, it was possible to relate the solids recovery with the froth velocity and with the tonality in the tail flow. To obtain different mineral recoveries, the froth height bed was varied, detecting that when there are high mineral recoveries the froth is fluid presenting an average pixel intensity of 30 in the tail flow, where 0 is black and 250 white. On the contrary, when there are low recoveries, there is a static and viscous froth, and a tonality of 10 very close to black is present, which indicates that valuable mineral is lost in that flow.

Artificial vision, Monitoring, Control, Flotation column

Introducción

Los objetivos de cualquier empresa de procesamiento de minerales al implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos, es el de incrementar su capacidad, mejorar la recuperación de los minerales de interés, mejorar la ley o pureza de los concentrados, reducir los costos de operación mediante la disminución del consumo de reactivos químicos, que el personal sea más productivo, entre otros. En esta industria se trata de procesar los minerales para separar los que son de interés (mineral valioso) del de desperdicio (mineral ganga o colas) y en ella existen diferentes etapas en el proceso de separación que incluye la concentración gravimétrica, flotación, separación magnética, lixiviación, calcinación, entre otros.

Los procesos de flotación son los más ampliamente utilizados en la industria del procesamiento de minerales para realizar una separación selectiva. Aún si este proceso fue desarrollado en los años 60's por Pierre Bountin y Remi Tremblay (1963), se han y siguen desarrollando investigaciones para mejorarlo ya que su naturaleza compleja, que involucra la química de la flotación, las variables operacionales y al equipo en sí hace difícil su control y optimización. De hecho, una pequeña variación en alguno de estos aspectos se propaga a los demás factores que finalmente afectan el producto final, lo cual es difícil de detectar hasta que se realizan muestreos del sistema que pueden evidenciar de forma tardía las fallas en la operación y por tanto tener pérdidas económicas.

En las últimas décadas se han desarrollado diferentes técnicas para el monitoreo y control automático de las plantas de flotación de minerales, con el afán de mejorar el control y la eficiencia de sus procesos. Una de las técnicas que ha tomado auge en la modernización del proceso ha sido el desarrollo de máquinas de visión artificial para monitorear las superficies de las espumas ya que con su estructura se puede tener un indicativo del grado y recuperación del mineral valioso. Estas máquinas de visión tienen como objetivo estandarizar, de forma cuantitativa, el monitoreo que realizan los operadores para controlar el proceso de flotación. Sin embargo, se sabe que en los procesos de separación de carbón los operadores expertos monitorean los flujos de ganga para detectar si se está perdiendo o no mineral valioso. En este proyecto se propone el monitoreo de este flujo mediante visión artificial y se relaciona con la recuperación de sólidos en el concentrado.

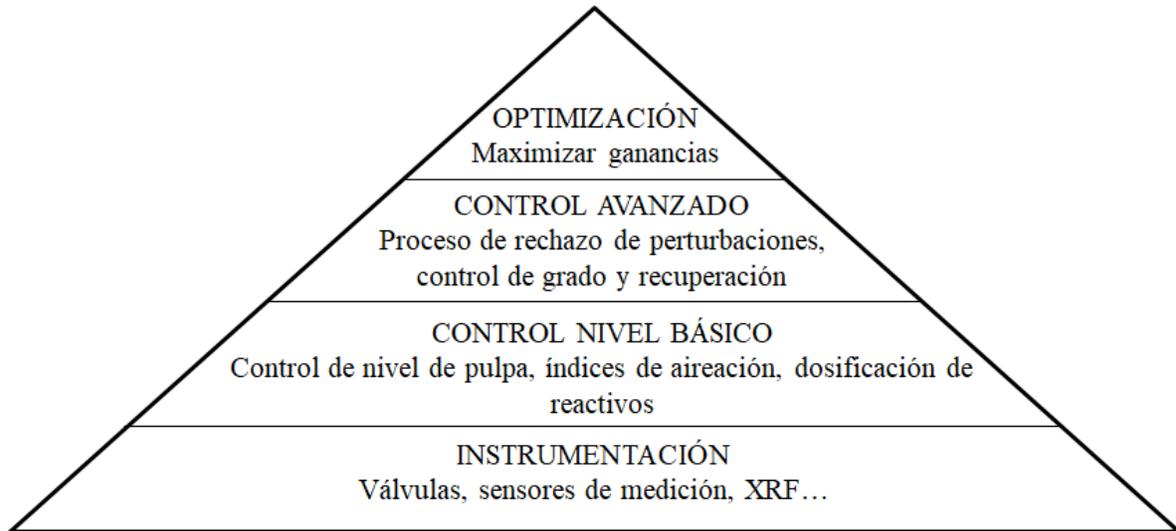
En la práctica, los operadores expertos son capaces de clasificar visualmente las espumas en diferentes categorías, las cuales están asociadas a las condiciones de operación. Se han desarrollado numerosos sistemas de visión desde los años 80's con el afán de monitorear y controlar el proceso de flotación (Aldrich y col., 2010; Holtham y Nguyen, 2002; Jahedsaravani y col., 2014a; Jahedsaravani y col., 2014b; Jahedsaravani y col., 2016b; Kaartinen y col., 2006; Kistner y col., 2013; Marais y Aldrich, 2011; Mehrabi y col., 2014; Moolman y col., 1996a; Moolman y col., 1995a; Moolman y col., 1996b; Peng y col., 2016; Jahedsaravani y col., 2017a).

El objetivo de estas máquinas de visión es detectar características de la superficie de la espuma como la distribución de tamaño de burbuja, color, velocidad y estabilidad de la espuma. Estas características se extraen de las imágenes y se asocian a las variables del proceso, tal como el flujo de aire, dosificación de reactivos, pH, porcentaje de sólidos en la pulpa, etc., las cuales son manipuladas para mantener los parámetros de operación (grado y recuperación) en los niveles deseados (Holtham y Nguyen, 2002; Kaartinen y col., 2006; Supomo y col., 2008; Jahedsaravani y col., 2017b; He, 2018). En lo que respecta al monitoreo del flujo de ganga no se ha reportado en la literatura algún trabajo relacionado.

Se ha estudiado la creación de lazos de control automático que utilicen la información provista por estas máquinas de visión artificial que monitorean la superficie de la espuma. Laurila y col., (2002) describen la jerarquía del proceso de control para los procesos de flotación, Figura 3.1. El nivel básico es el de la instrumentación en sí del sistema, y que es la base de éste en donde el diseño, elección y mantenimiento de los instrumentos es de gran importancia para cualquier sistema de control.

Además, para elegir los instrumentos correctos se debe tener un entendimiento profundo del funcionamiento y aplicación de éstos dentro del sistema. En el control básico es importante mantener las variables primarias, tales como el nivel de la pulpa, flujo de aire y adición de reactivos, en los set points adecuados. Los dos niveles que siguen son parte del control avanzado de la flotación, que involucra la optimización y control del proceso considerando mantener los parámetros de operación tal como el grado (pureza) y recuperación del mineral para maximizar la eficiencia y ganancias económicas.

Figura 3.1 Jerarquía de niveles del proceso de control para procesos de flotación (Laurila y col., 2002)



Fuente: Laurila, H., Karesvuori, J., Tiili, O. (2002). Strategies for instrumentation and control of flotation circuits. Mineral Processing Plant Design, Practise and Control, Volume 1, pp. 2174–2195. ISBN-10: 0873352238

Hasta la fecha se siguen estudiando y proponiendo técnicas de análisis de imágenes que proporcionen estimaciones más cercanas en la determinación de las variables de la superficie de la espuma aprovechando el avance tecnológico computacional para aprovechar la velocidad de procesamiento en los sistemas de cómputo y en los softwares que se encuentran en el mercado o bien diseñar uno propio que pueda incluir el sistema de control de variables.

En este trabajo se propone relacionar una de las variables importantes que caracterizan la espuma de flotación, como lo es la velocidad con la que ésta fluye y el monitoreo del flujo de ganga para asociarlo a la recuperación de mineral en el concentrado, de modo que cuando se detecte una deficiencia en la operación a partir de este monitoreo se solucione esta situación mediante la adición de reactivos. Cabe mencionar que este control de reactivos en base a la inspección visual se realiza en línea mediante una interfaz gráfica y un sistema dosificador de reactivos que es capaz de adicionar la cantidad específica que determine el operador experto.

Contenido

1. Monitoreo mediante sistema de visión artificial de la superficie de la espuma en una columna de flotación
 - 1.1. Estimación de la velocidad de la espuma mediante la técnica de correlación cruzada normalizada
2. Aparato experimental
3. Control de la dosificación de reactivos a partir del monitoreo de la velocidad de la superficie de la espuma
 - 3.1. Estimación de la velocidad de las burbujas en la superficie de la espuma: Medición manual.
 - 3.2. Estimación de la velocidad de las burbujas en la superficie de la espuma automático: Método de correlación cruzada normalizada.
4. Relación de la velocidad de la espuma con la recuperación de sólidos en el concentrado.
5. Efecto de la recuperación de sólidos en el concentrado en el monitoreo de la superficie de la espuma y el flujo de ganga.
6. Estimación de la velocidad de las burbujas en la superficie de la espuma y adición de reactivos: Método automatizado (en línea).
7. Conclusiones
8. Agradecimientos
9. Referencias

1. Monitoreo mediante sistema de visión artificial de la superficie de la espuma en una columna de flotación

Las columnas de flotación son los equipos más importantes y ampliamente utilizados para la separación de los minerales. En su funcionamiento el mineral que es introducido es primeramente reducido a ciertos tamaños de partículas para ser posteriormente combinado con líquido y ciertos reactivos químicos para formar una suspensión que se sujeta a un mezclado que permita que las partículas no se sedimenten y se mezclen homogéneamente. La pulpa mineral que se forma es introducida a contracorriente del aire inyectado a la columna que forma pequeñas burbujas, y las cuales hacen contacto con las partículas. Las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas para formar un agregado burbuja-partícula que asciende hasta la superficie de la columna en donde se forma una cama de espuma. Las partículas que no se adhieren a las burbujas descienden hasta llegar a la salida de colas o ganga. Esta espuma finalmente es quien lleva las partículas de interés a la superficie para finalmente rebosar y ser colectada en otro depósito en donde se recupera el mineral.

Las partículas de interés se hacen hidrofóbicas al adicionar surfactantes que se adsorben en su superficie y la modifican para que puedan adherirse a las burbujas y finalmente puedan ser recuperadas, dejando a las otras partículas, que no son de interés, en una forma hidrofílica para que no se adhieran y se colecten en el flujo de ganga.

Se ha reportado que una de las variables que monitorean los operadores para el control del proceso es el color de la espuma, ya que este se encuentra fuertemente relacionado al tipo de mineral y a su concentración (Hätonen y col., 1999; Bonifazi y col., 1998a; Bonifazi y col., 1999; Moolman y col., 1996; Hargrave y Hall, 1997). Por otra parte se ha mostrado que la movilidad, estabilidad y el tamaño de burbuja son las características más significativas de la espuma, ya que están relacionadas al grado de mineralización de ésta (Moolman y col., 1996, Estrada-Ruiz y Pérez-Garibay, 2009). Investigadores como Cilliers y col., han utilizado estas características para evaluar la eficiencia del proceso y estimar la cantidad de mineral que se recupera. Una de las características más importantes, de las antes mencionadas, es la velocidad de la espuma, ya que este es el indicador más significativo de la cantidad de mineral que se recupera y por consecuencia del estado en el que opera el proceso (Cilliers y col., 1998; Estrada-Ruiz y col., 2012).

1.1. Estimación de la velocidad de la espuma mediante la técnica de correlación cruzada normalizada

Una de las primeras técnicas para la estimación de la velocidad de la espuma fue utilizada por Cilliers y col. (1998) y Asplin y col. (1998), la cual consiste en filmar la superficie de la espuma directamente desde arriba en una celda de flotación de laboratorio, de tal forma que la velocidad de la superficie de la espuma cerca del rebose puede ser determinada mediante el seguimiento del avance de las burbujas individuales en un par de imágenes.

Otra técnica, más robusta que consume menos tiempo de análisis y que permite su aplicación en línea, es la reportada por Holtham y Nguyen (2002). El método está basado en la igualación de objetos, es llamado rastreo de píxel y se fundamenta en dos suposiciones:

- a. El objeto seleccionado no es distorsionado durante la medición. Esto puede considerarse cierto si el intervalo de tiempo entre dos imágenes consecutivas es suficientemente pequeño (Biland (1987); Wiklund y Granlund (1987)).
- b. La intensidad luminosa de cualquier punto del objeto es invariable durante la medición. Esto también puede considerarse verdadero dentro de un intervalo corto de tiempo entre las imágenes.

La descripción matemática de la técnica de la correlación cruzada para encontrar la posición en la cual se encuentra una plantilla $w(x,y)$ dentro de una imagen $f(x,y)$, se inicia planteando la ecuación que calcula la distancia Euclideana cuadrada, la cual se calcula mediante la siguiente ecuación (Lewis, 2003). Cabe recordar en este punto que $f(x,y)$ es una matriz cuyos elementos tienen un valor proporcional a la intensidad luminosa.

$$d_{f,w}^2(u, v) = \sum_{x,y} [f(x, y - w(x - u, y - v))]^2 \quad (1.1)$$

donde f es entonces la imagen de mayor tamaño que la plantilla w . El resultado de esta ecuación es la suma del cuadrado de las diferencias de los elementos de la matriz plantilla con diferentes secciones de la imagen f . Es decir, la matriz plantilla w se va restando a diferentes secciones (de igual dimensión de la plantilla) de la imagen f y posteriormente cada diferencia se eleva al cuadrado. En la expansión de d^2

$$d_{f,w}^2(u, v) = \sum_{x,y} [f^2(x, y - 2f(x, y)w(x - u, y - v) + w^2(x - u, y - v))] \quad (1.2)$$

El término $\sum w^2(x - u, y - v)$ representa la intensidad luminosa de la plantilla y es constante y el término $\sum f^2(x, y)$, que representa la intensidad luminosa en cada sección de la imagen f , es aproximadamente constante, entonces lo que permanece en la función de correlación cruzada es

$$c(u, v) = \sum_{x,y} f(x, y)w(x - u, y - v) \quad (1.3)$$

Esta es la medición de la similitud entre la imagen y la plantilla.

Existen varias desventajas en el uso de la Ecuación 1.3 para encontrar la posición de igualación de la plantilla:

- Si el brillo de la imagen $\sum f^2(x, y)$ varía con la posición, la igualación con la Ecuación (1.6) puede fallar.
- El rango o valores de $c(u, v)$ depende del tamaño de la plantilla.
- El resultado de la Ecuación 1.3 puede modificarse debido a los cambios en la amplitud de intensidad de la imagen, tal como aquellos causados por el cambio de iluminación a través de la secuencia de imágenes.

El coeficiente de correlación supera estas dificultades mediante la normalización de los vectores de la imagen y la plantilla a una longitud de 1, arrojando un coeficiente de correlación que se determina por la siguiente ecuación:

$$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - \overline{f_{u,v}}][w(x - u, y - v) - \overline{w}]}{\left\{ \sum_{x,y} [f(x, y) - \overline{f_{u,v}}]^2 \sum_{x,y} [w(x - u, y - v) - \overline{w}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (1.4)$$

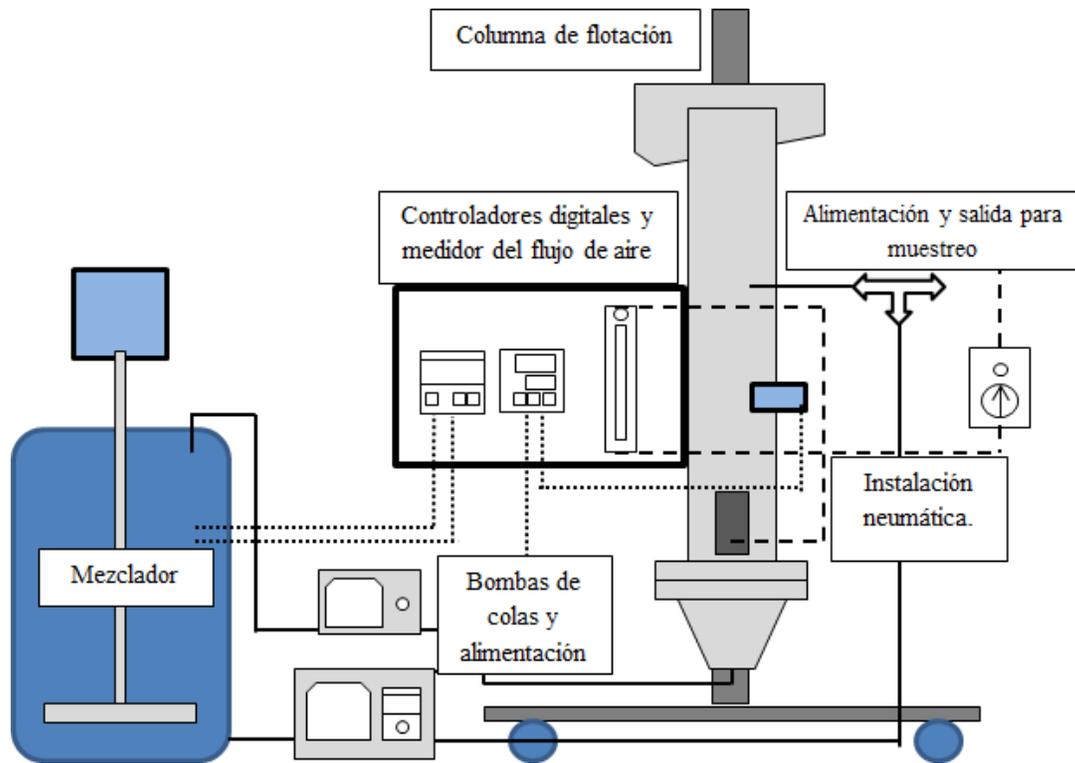
Donde \overline{w} es la intensidad luminosa media de la plantilla y $\overline{f_{u,v}}$ es la intensidad media de $f(x, y)$ en la región bajo la plantilla. La Ecuación 3.6 se presenta como la correlación cruzada normalizada (Lewis, 2003).

Cabe recordar que el grado de similitud entre las imágenes será representado por el valor del pico de correlación, en donde los valores cercanos a 1 muestran que las imágenes presentan grandes similitudes entre ellas, valores de correlación cercanos a 0 indican que las imágenes tienen grandes diferencias entre ellas y valores de -1 determinan correlaciones inversas.

2. Aparato experimental

La etapa experimental se realizó de manera similar con lo reportado por Estrada-Ruiz y col., 2012, pero con la diferencia del acondicionamiento del mineral. Los experimentos se realizaron en una columna de flotación de laboratorio de 180 cm de alto y 9.5 cm de diámetro. Para lograr generar diferentes características en la superficie de la espuma se manipuló su profundidad y la adición de colector en cada una de las pruebas. La Figura 3.2 muestra la instrumentación de la columna.

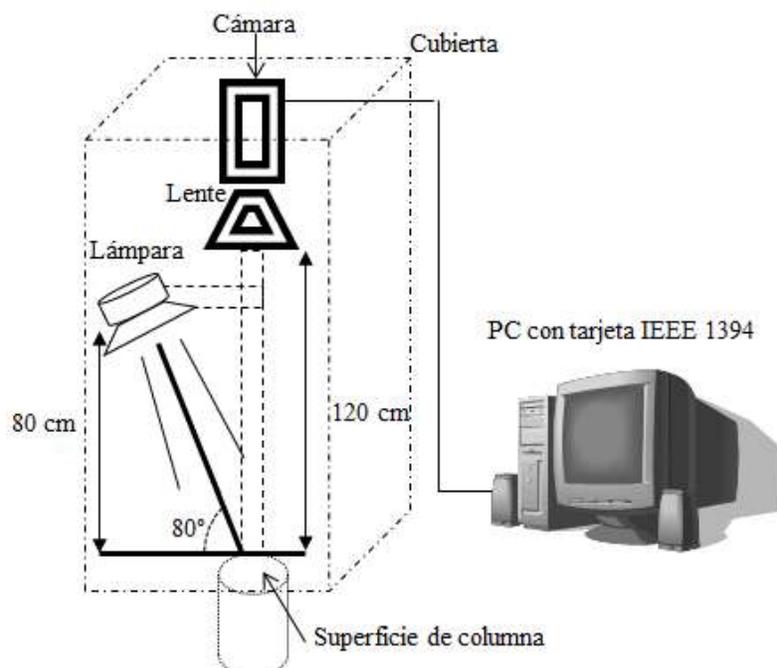
Figura 3.2 Aparato experimental



Fuente: Estrada Ruiz, R.H., Pérez-Garibay, R., Martínez-Carrillo, D., Flores-Campos, R., Morales-Morales, J.A. 2012. Visión artificial para el monitoreo y control de reactivos en línea en una columna de flotación de laboratorio. Congreso Nacional de Control Automático. 107-112.

Para la adquisición de las imágenes de la superficie se instaló una videocámara conectada a una PC a 120 cm sobre la cima de la columna, y complementariamente se instaló una cubierta como cámara de aislamiento de luz externa y una lámpara de halógeno de 90 W, que fue colocada a 80 cm por encima del labio de rebose, manteniendo un ángulo de 80° con respecto a la superficie de la espuma, Figura 3.3.

Figura 3.3 Sistema de adquisición de imágenes de la superficie de la espuma



Fuente: Estrada Ruiz, R.H., Pérez-Garibay, R., Martínez-Carrillo, D., Flores-Campos, R., Morales-Morales, J.A. 2012. Visión artificial para el monitoreo y control de reactivos en línea en una columna de flotación de laboratorio. Congreso Nacional de Control Automático. 107-112.

El acondicionamiento del mineral fue realizado en un tanque mezclador en el cual se adicionaron 85 L de agua, manteniendo su temperatura en 30°C. Una vez alcanzada la temperatura se agregó el carbón mineral, 9.7 %w con tamaño promedio a 100 µm, conservando la agitación constante, posteriormente se añadió 4.6 kg/ton de colector (Diesel) y espumante (MIBC) con 20 ppm transcurriendo 15 minutos entre cada adición de estos reactivos. Para lograr condiciones estables, la pulpa fue mezclada por un periodo de 15 minutos y después se inició el llenado de la columna de flotación, en donde todos los flujos se establecieron en los valores deseados. Para asegurar el estado estable de operación (circuito cerrado), la columna de flotación fue operada por alrededor de 25 min antes de muestrear la alimentación, concentrado y colas, para asegurarse de la estabilidad del proceso y dar por iniciado el experimento. Una vez iniciado el experimento, para evitar cualquier perturbación del proceso, la alimentación fue muestreada al final de cada prueba debido a que la bomba de la alimentación fue incluida en el lazo de control del nivel de la espuma. De no haber procedido de esta forma, el nivel de caudal de alimentación se incrementaría significativamente como consecuencia del incremento del espesor de la cama de espuma, cuando se toma la muestra del caudal de colas. En este caso el lazo de control fue conformado por un transductor de presión, el cual fue conectado a un controlador que envía la señal eléctrica a la bomba de alimentación para regular el nivel de la espuma a la profundidad deseada.

Las características de la superficie de la espuma fueron modificadas cambiando el espesor de cama de espuma. El nivel de cama de espuma se modificó en cinco ocasiones, para después mantenerse constante durante el periodo de tiempo que se consideraba necesario en cada experimento, de tal forma que se permitiera la toma las imágenes de las burbujas en la superficie de la espuma y en el flujo de colas.

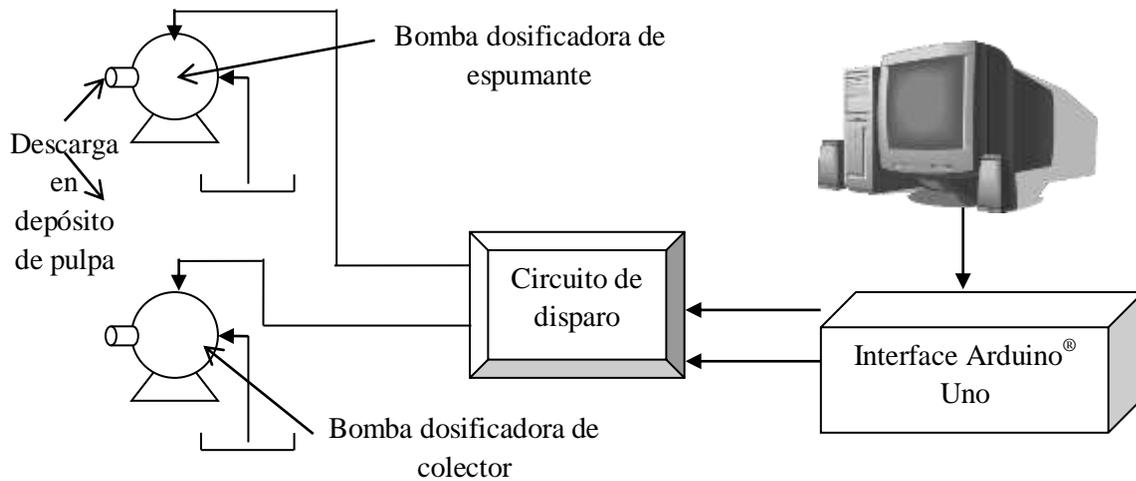
3. Control de la dosificación de reactivos a partir del monitoreo de la velocidad de la superficie de la espuma

Se sabe que la adición de reactivos es la variable más empleada para realizar cambios sustanciales en la recuperación de sólidos en las columnas de flotación. Los reactivos comúnmente utilizados en este proceso son los espumantes y los colectores. Los espumantes se emplean para aumentar el flujo de área superficial para la carga de partículas en el reactor y los colectores son empleado para modificar la superficie de las partículas para hacerlas más hidrofóbicas, esto es, más afines al aire, de tal modo que tengan más probabilidad de adherirse a las burbujas e incrementar su carga.

Existe una variedad de equipo para la adición de reactivos que se utilizan en la industria, y esto es debido a la cantidad que se agregan y la gran variedad de diversidad de reactivos diferentes que existen y que tienen cada uno de ellos sus propiedades químicas y atributos en la flotación. Laurila y col., (2002) reportan que hay dos métodos que se consideran comunes para esta adición: Un dosificador simple on-off que abre una válvula periódicamente y que permite la entrada del reactivo al proceso. En éste se requiere una verificación regular para que se asegure que la cantidad correcta se adicione, y este método puede ser muy inexacto. El otro método implica el uso de bombas de medición, especialmente si los volúmenes que se van agregar son muy pequeños o el costo es importante. Este método es más preciso pero requiere de una inversión costosa por las bombas y requieren de un mantenimiento periódico.

Para realizar la dosificación de reactivos en este trabajo, se diseñó un sistema como el presentado en la Figura 3.4 y el cual consta de un sistema programado en Matlab, una tarjeta Arduino Uno, un circuito eléctrico y un par de bombas de descarga de reactivos químicos.

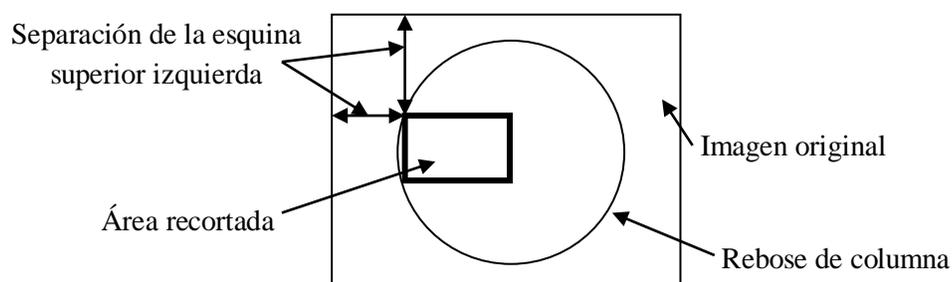
Este sistema de dosificación se encuentra regido por una serie de reglas heurísticas Si – Entonces en donde se hace una comparación de la velocidad estimada y una de referencia. Cuando se encuentra debajo de la medición de referencia se activa una pantalla en donde se tiene la opción de elegir la cantidad de reactivos químicos basados en la calibración de los flujos de las bombas. De tal modo que es posible dosificar diferentes mililitros de colector y espumante de acuerdo con el tiempo de la señal de salida del circuito de disparo.

Figura 3.4 Sistema de dosificación de reactivos

Fuente: Estrada Ruiz, R.H., Pérez-Garibay, R., Martínez-Carrillo, D., Flores-Campos, R., Morales-Morales, J.A. 2012. Visión artificial para el monitoreo y control de reactivos en línea en una columna de flotación de laboratorio. Congreso Nacional de Coontrol Automático. 107-112.

3.1. Estimación de la velocidad de las burbujas en la superficie de la espuma: Medición manual

La medición manual requirió identificar un área de interés en las imágenes, la cual se considera en forma similar en la medición automática, como se indica en la Figura 3.5. Dicha área fue recortada de las imágenes capturadas con la finalidad de hacer más fácil la identificación del recorrido de las burbujas, el recorte se hizo en base a las dimensiones de la imagen original ubicándolo a 180x 140 píxeles (horizontal x vertical) a una distancia de 150 x 190 píxeles desde la esquina superior izquierda de la imagen capturada haciendo uso del software Matlab.

Figura 3.5 Representación del área de interés para el análisis de la superficie de la espuma

Una vez que se identificó el área de interés se procedió a seleccionar las secuencias de imágenes a analizar considerando el desplazamiento de una burbuja a través de la superficie de la espuma hasta que rebosara y se colectara en el concentrado. Para ello se seleccionó una burbuja a seguir en la secuencia, se delimitó la cresta de ésta en la imagen inicial y en la imagen final. La medición de la distancia recorrida se trazó dibujando una línea que marcara los centros de ambas crestas para poder obtener una distancia recorrida a través de las imágenes creando un macro en el software Image Pro-Plus, dicha medición se puede observar en la Figura 3.6, y se dividió entre el tiempo que transcurrió la secuencia de fotografías.

Figura 3.6 Ejemplo de medición manual de la distancia recorrida por una burbuja

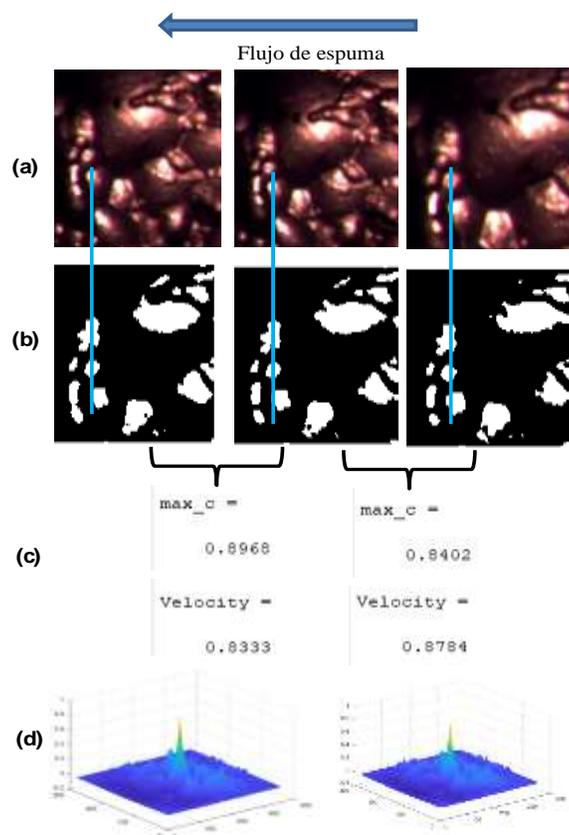


3.2. Estimación de la velocidad de las burbujas en la superficie de la espuma automático: Método de correlación cruzada normalizada

El procedimiento para la estimación de la velocidad utilizando la técnica de correlación cruzada se basa en lo realizado por Estrada-Ruiz y col., 2012, y que consiste en cortar las secciones de la imagen a analizar (Figura 3.7(a)), digitalizarlas y normalizarlas a valores de 0 y 1, como se ilustra en la imagen en formato blanco y negro (sección (b)).

Habiendo normalizado las imágenes se aplica la técnica de correlación cruzada para el análisis de pares de imágenes, la cual proporciona el nivel de correlación (\max_c) y la velocidad calculada por el programa (sección (c)). Los resultados de esta técnica se reportan en gráficos tridimensionales, donde el eje de las ordenadas representa el factor de correlación, correspondiendo el mayor valor al pico de correlación (d). Las coordenadas donde hay más correlación son utilizadas para estimar la distancia recorrida de las intensidades de la primera imagen a la segunda.

Figura 3.7 Estimación de la velocidad de la espuma de manera automática empleando la técnica de correlación cruzada normalizada

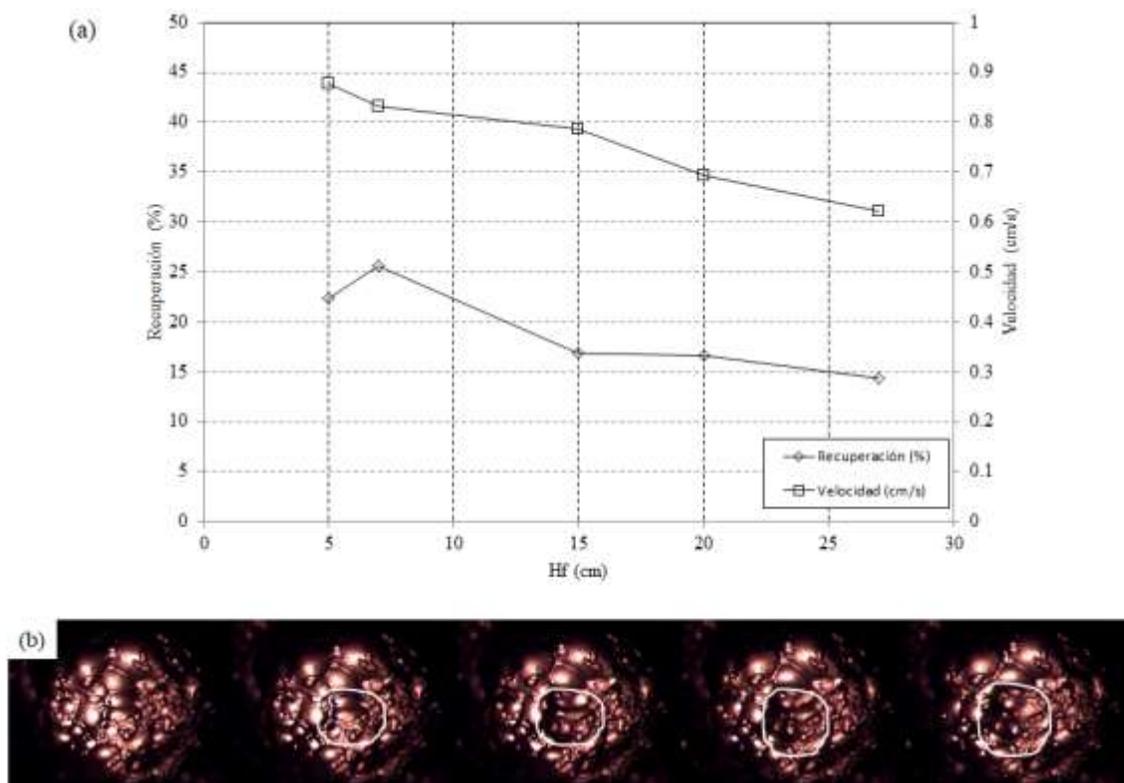


4. Relación de la velocidad de la espuma con la recuperación de sólidos en el concentrado

Como se observa en la Figura 3.8, cuando se presentan velocidades bajas de la superficie de la espuma se tiene baja recuperación de sólidos. Esto probablemente se debe a que cuando entran burbujas con poca carga a la zona de espuma se presenta un alto grado de coalescencia entre ellas, provocando que solo un reducido número de burbujas cargadas avancen con baja velocidad en dirección hacia la salida de concentrado. Se pudo observar que la espuma a una altura de 27 cm al tener un mayor tiempo de residencia la espuma se volvía estática y por tanto las burbujas en la superficie explotaban o calecían, teniendo como consecuencia el colapso en ciertos momentos de la espuma y por tanto el regreso de las partículas a la zona de colección y/o al flujo de ganga.

De acuerdo con Moolman y col., 1996 las espumas pueden ser caracterizadas como líquidas, ideales y viscosas, siendo asociadas directamente con la recuperación de sólidos en el concentrado. En la Figura se presenta esta relación en referencia a las velocidades de espuma correspondientes a las diferentes alturas de cama de espuma. Además, se presenta también las recuperaciones de sólidos para cada espesor, en donde se puede apreciar que la espuma ideal (alta recuperación de sólidos) se encuentra en una altura de cama de espuma de 7 cm correspondiente a una velocidad de 0.83 cm/s. Las recuperaciones de sólidos son baja debido a que el mineral que fue donado por la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila era concentrado de una flotación previa en la Industria, por ello, las velocidades eran lentas y las recuperaciones bajas.

Figura 3.8 Relación entre el espesor de la cama de espuma, recuperación y velocidad con la que fluye (a) y superficie de cama de espuma de 27 cm estática y con colapso de burbujas



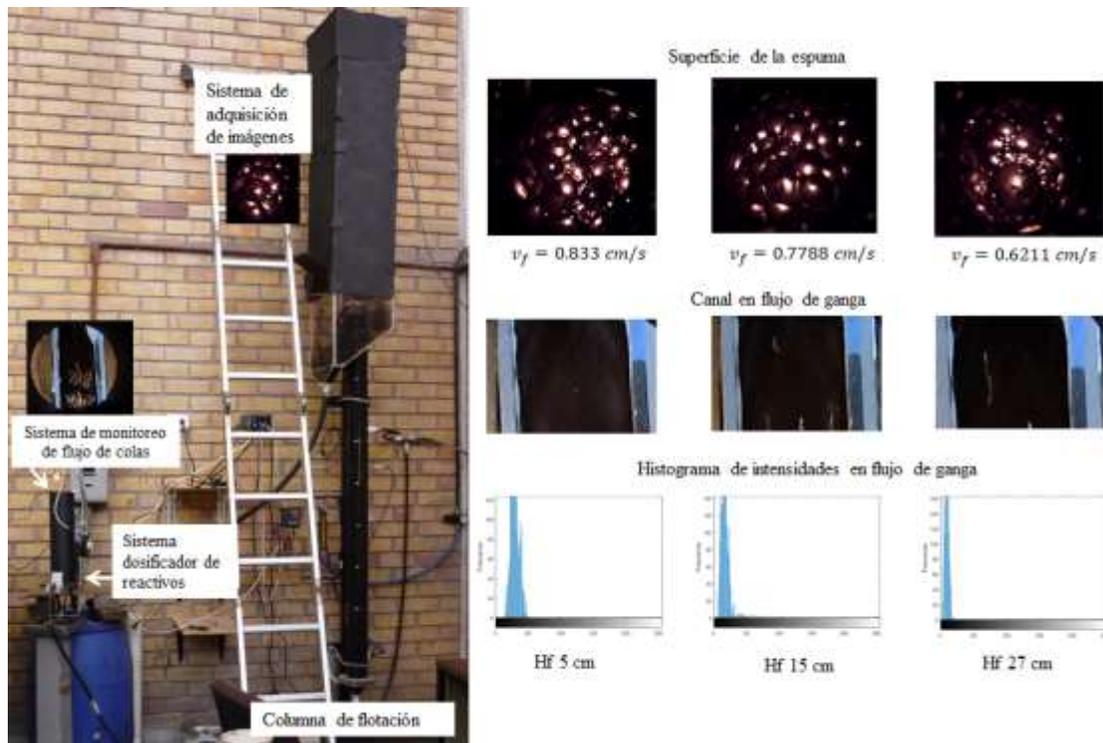
Cuando se presenta el fenómeno de cama de espuma estática, coalescencia y colapso de burbujas se identifica de manera automática en el programa ya que está asociado a la velocidad de la espuma, Figura 3.8(b). Esta velocidad al ser menor que el set point establecido ($v_f=0.85$ cm/s) activa la alarma para la dosificación de reactivos. La decisión de adición de espumante o colector se toma bajo la experiencia del operador.

5. Efecto de la recuperación de sólidos en el concentrado en el monitoreo de la superficie de la espuma y el flujo de ganga

En la práctica, los operadores expertos monitorean de manera frecuente el flujo de ganga en lugar de la superficie de la espuma. En este trabajo se adquirieron imágenes de este flujo, se eligió la sección a analizar y se obtuvieron los histogramas de intensidades de píxel.

En la Figura 3.9 se muestra el sistema experimental integrado especificando el sistema de adquisición de imágenes de la superficie de la espuma y en el flujo de ganga y el sistema dosificador de reactivos. Además, se presentan imágenes representativas de para las alturas de cama de espuma de 5, 15 y 27 cm, en donde se puede apreciar que las intensidades de píxel varían con respecto a cada condición y por tanto a cada recuperación de sólidos. Los valores de intensidad de píxel promedio en escala de grises para estas son 29.38, 17.88 y 9.7 respectivamente, en donde el 0 indica color negro y 255 blanco.

Figura 3.9 Sistema experimental especificando el monitoreo de la superficie de la espuma y flujo de ganga para tres espesores de cama de espuma. Se especifica el histograma de intensidades en el flujo de ganga bajo estas condiciones



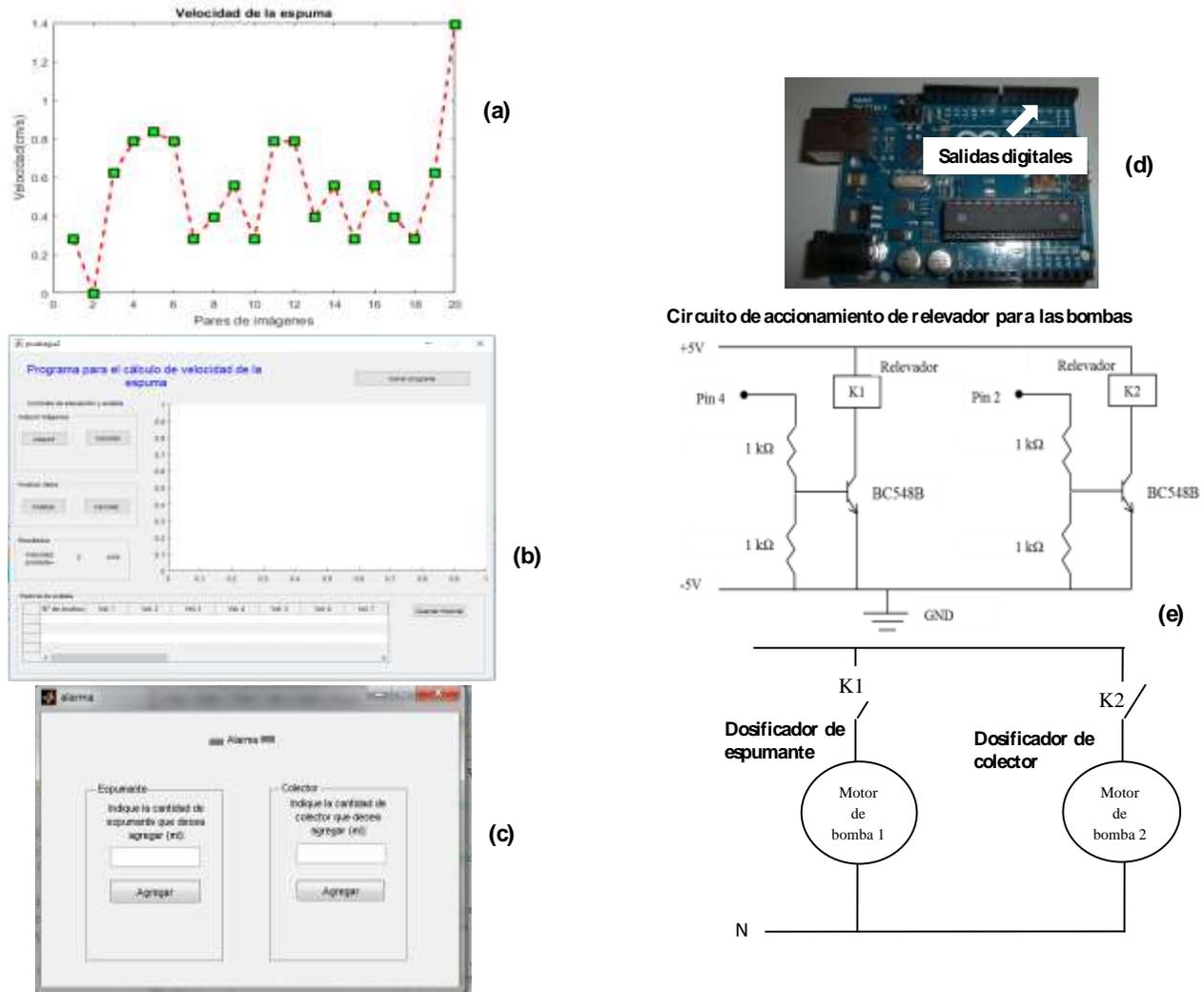
6. Estimación de la velocidad de las burbujas en la superficie de la espuma y adición de reactivos: Método automatizado (en línea)

El sistema de dosificación de reactivos se basa en la velocidad con la que fluye la espuma, para ello se realizaron pruebas preliminares en Matlab, ver Figura 3.10 (a). Una vez validada la programación preliminar se procedió a realizar una interfaz gráfica en tiempo real (Figura 3.10 (b)). El sistema de dosificación hace uso de dos bombas peristálticas de caudal constante las cuales son accionadas por el circuito de control. Este circuito fue construido de tal manera que permitiera el enlace entre la interfaz Arduino Uno y las bombas (Figura 3.10 (d y e)). Para ello fue necesario la implementación de un programa de enlace entre Matlab con la tarjeta Arduino Uno, para permitir la activación de las salidas digitales indicadas fue necesario la instalación de la tarjeta en la PC para que se reconociera como un puerto serie adicional. Esta detección permitió la comunicación con el software de la tarjeta y para enlazarla con Matlab fue necesario cargar el programa “adiosrv.pde” en la memoria del microprocesador para después ejecutar el archivo “install_arduino.m” desde Matlab, el cual habilitó la comunicación directa con la tarjeta. Una vez lograda la comunicación con la tarjeta, se implementó un circuito de disparo que acciona las bombas dosificadoras, como se muestra en el circuito de potencia. El circuito permitió recibir la señal de activación proveniente de dos de las salidas digitales de la tarjeta y así accionar a los relevadores encargados de encender y apagar las bombas.

Con la interfaz gráfica es posible iniciar la adquisición de imágenes para que estas sean procesadas y así estimar en línea la velocidad con la que fluye la espuma grificándola en tiempo real. En el programa se establece un valor de velocidad óptima (set point), que puede ser establecida según el criterio de los operadores. Cuando el valor estimado sobre pasa el set point se lanza una alarma (Figura 3.10 (c)) para que el operador pueda agregar espumante o colector, según lo que crea conveniente. Cabe mencionar que esto lo puede realizar desde la sala de control, de modo que no tenga que desplazarse hasta el sitio donde se encuentran las columnas de flotación.

Para la adición de reactivos se consideró conveniente establecerlo en mL ya que las bombas fueron calibradas para que proporcionaran un caudal constante, por lo que la variable que se consideró estimar por el programa fue el tiempo de accionamiento del relevador cuando en la pantalla se le introduce el valor de mL que se desea agregar al sistema.

Figura 3.10 Interfaz gráfica de monitoreo de velocidad de la espuma con señal de alarma, circuito de disparo y circuito de accionamiento de bombas dosificadoras de reactivos



7. Conclusiones

El monitoreo de los procesos de flotación de minerales es de gran importancia para asegurar el buen funcionamiento, la eficiencia y evitar pérdidas financieras. En los procesos de flotación de carbón mineral se inspecciona la superficie de la espuma, pero con más frecuencia e importancia, se inspecciona el flujo de ganga que indica si se está perdiendo mineral valioso en la columna.

En este trabajo de investigación fue posible asociar la recuperación de sólidos con la velocidad de la espuma al concentrado y las imágenes en el flujo de desperdicio, en donde se concluye que es posible monitorear el proceso de manera automatizada mediante máquinas de visión artificial y detectar bajas recuperaciones de mineral valioso con la propuesta de la adición de reactivos, ya sea espumante o colector, especificando la cantidad por parte del operador experto mediante una interfaz gráfica.

Si bien el monitoreo del flujo de ganga en este trabajo es difícil debido a que las intensidades promedio para cada condición presentan pocas diferencias, ya que el mineral empleado en las pruebas ya había sido flotado con anterioridad, la propuesta de este trabajo es muy factible de aplicar en la flotación de mineral proveniente directo de la mena ya que es muy posible que las diferencias de intensidad de pixel sean más pronunciadas puesto que las impurezas en este mineral son caliza, cuarzo, compuestos de sulfuro, tal como la pirita, cuyas tonalidades contrastan con las del carbón mineral.

El sistema de control de reactivos mediante bombas peristálticas e interfaz gráfica en tiempo real puede ser llevado a cabo mediante el uso de visión artificial en el flujo de ganga de manera estandarizada al establecer un set point de intensidad de píxel provisto por un operador experto y lanzar alarmas de adición de reactivos desde la sala de control de la planta.

Como trabajo a futuro se contempla el implementar la filosofía del Internet de las Cosas (IoT) en este proceso de flotación bajo el esquema de Industria 4.0, de tal modo que se contribuya a las tendencias actuales de la industria en México.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT (México) y al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento recibido para concluir este trabajo, así como a la Escuela Superior de Ingeniería de la U.A. de C. por la donación del mineral.

9. Referencias

- Aldrich, C., Marais, C., Shean, B., Cilliers, J. (2010). Online monitoring and control of froth flotation systems with machine vision: a review. *Int. J. Miner. Process.* 96, 1–13.
- Asplin, R. A., Sadr-Kazemi, N., Cilliers, J. J. (1998). The effect of surfactant concentration on batch flotation mineral flux and froth structure. *Minerals Engineering*. Vol. 11, No 3, pp. 257-269.
- Biland, H. P. (1987). Multiple-motion recognition with general Hough transformation. *Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition II*, pp. 251-258.
- Bonifazi G., Serranti S., Volpe F., Zuco R. (1998). Flotation froth characterization by closed domain (bubbles) color analysis. In: 4th Int. Conf, on quality control by artificial vision, November 10-12, Takamatsu, Japan, pp. 131-137.
- Bonifazi G., Serranti S., Volpe F., Zuco R. (1999b). Characterization of flotation froth color and structure by machine vision. In *GEOVISION 99*, may 6-7, Liege, Belgium.
- Boutin, P., Tremblay, R.J. 1963. Froth flotation method with counter-current separation. U.S. Patent 3,339,730.
- Cilliers J. J., Asplin R. A., Woodburn E. T. (1998). Kinetic flotation modeling using froth imaging data. Chapter 10. *Frothing in flotation II*. Gordon and Breach Science Publishers, pp.336.
- Estrada-Ruiz, R.H., Pérez-Garibay, R. (2009). Neural networks to estimate bubble diameter and bubble size distribution of flotation froth surfaces. *The journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 109, 441-446.
- Estrada Ruiz, R.H., Pérez-Garibay, R., Martínez-Carrillo, D., Flores-Campos, R., Morales-Morales, J.A. (2012). Visión artificial para el monitoreo y control de reactivos en línea en una columna de flotación de laboratorio. *Congreso Nacional de Cocontrol Automático*. 107-112.
- Hätönen J., Hyötiniemi H. Y., Miettunen J., Carlsson L. E. (1999). Using image information and partial least squares method to estimate mineral concentrations in mineral flotation. *Proceedings of the 2nd Int. Conf. on intelligent processing and manufacturing of material*, July 10-15. Vol. 1, pp. 459-464.
- He. M. (2018). Optimal control of sulphur flotation process base on machine visión. *IFAC Papers online*. 51-21, 169-174.
- Holtham, P., Nguyen, K. (2002). On-line analysis of froth surface in coal and mineral flotation using JK FrothCam. *Int. J. Miner. Process.* 64, 163–180.

- Jahedsaravani, A., Marhaban, M., Massinaei, M., Saripan, M., Mehrshad, N., Noor, S. (2014b). Development of a new algorithm for segmentation of flotation froth images. *Miner. Metall. Process. J.* 31, 66–72.
- Jahedsaravani, A., Marhaban, M., Massinaei, M., Saripan, M., Noor, S. (2016a). Froth-based modeling and control of a batch flotation process. *Int. J. Miner. Process.* 146, 90–96.
- Jahedsaravani, A., Massinaei, M., Marhaban, M. (2016b). Application of image processing and adaptive neuro-fuzzy inference system for estimation of the metallurgical parameters of a flotation process. *Chem. Eng. Commun.* 203, 1395–1402.
- Jahedsaravani, A., Marhaban, M.H., Massinaei, M. (2014). Prediction of the metallurgical performances of a batch flotation system by image analysis and neural networks. *Miner. Eng.* 69, 137–145.
- Jahedsaravani, A., Massinaei, M., Marhaban, M.H. (2017a). Development of a machine vision system for real-time monitoring and control of batch flotation process. *Int. J. Miner. Process.* 167, 16–26.
- Jahedsaravani, A., Massinaei, M., Marhaban, M.H. (2017b). An image segmentation algorithm for measurement of flotation froth bubble size distributions. *Meas.* 111, 29–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.07.023>
- Kaartinen, J., Hätönen, J., Hyötyniemi, H., Miettunen, J. (2006). Machine-vision-based control of zinc flotation—a case study. *Control. Eng. Pract.* 14, 1455–1466.
- Kistner, M., Jemwa, G.T., Aldrich, C. (2013). Monitoring of mineral processing systems by using textural image analysis. *Miner. Eng.* 52, 169–177.
- Laurila, H., Karesvuori, J., Tiili, O. (2002). Strategies for instrumentation and control of flotation circuits. *Mineral Processing Plant Design, Practise and Control, Volume 1*, pp. 2174–2195. ISBN-10: 0873352238.
- Lewis, J. P. (2003). Fast normalized cross-correlation. Available from: www.idiom.com/~zilla/index.html#Publications.
- Mehrabi, A., Mehrshad, N., Massinaei, M. (2014). Machine vision based monitoring of an industrial flotation cell in an iron flotation plant. *Int. J. Miner. Process.* 133, 60–66.
- Moolman, D., Aldrich, C., Van Deventer, J. (1995a). The monitoring of froth surfaces on industrial flotation plants using connectionist image processing techniques. *Miner. Eng.* 8, 23–30.
- Moolman, D., Aldrich, C., Van Deventer, J., Bradshaw, D. (1995b). The interpretation of flotation froth surfaces by using digital image analysis and neural networks. *Chem. Eng. Sci.* 50, 3501–3513.
- Moolman, D., Aldrich, C., Schmitz, G., Van Deventer, J. (1996a). The interrelationship between surface froth characteristics and industrial flotation performance. *Miner. Eng.* 9, 837–854.
- Moolman, D., Eksteen, J., Aldrich, C., Van Deventer, J. (1996b). The significance of flotation froth appearance for machine vision control. *Int. J. Miner. Process.* 48, 135–158.
- Supomo, A., Yap, E., Zheng, X., Banini, G., Mosher, J., Partanen, A. (2008). PT Freeport Indonesia's mass-pull control strategy for rougher flotation. *Miner. Eng.* 21, 808–816.
- Wiklund, J., Granlund, G. (1987). Tracking of multiple moving objects. *Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition II*, pp. 127–135.

Capítulo 4 Diseño de un control híbrido neurodifuso para una unidad turbogás

Chapter 4 Design of a hybrid neuro-fuzzy system for a gas turbine

VILLAGRAN-VILLEGAS, Luz Yazmin†*, PATIÑO-ORTIZ, Miguel, HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Luis Héctor y BELTRÁN-FERNÁNDEZ, Juan Alfonso

Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”- Zacatenco, Gustavo A. Madero, Mexico D.F.

Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Poza Rica Veracruz, México.

ID 1^{er} Autor: *Luz Yazmin, Villagran-Villegas* / **ORC ID:** 0000-0003-3860-2923, **CVU CONACYT ID:** 96365

ID 1^{er} Coautor: *Miguel, Patiño-Ortiz* / **ORC ID:** 0000-0002-5630-8077, **CVU CONACYT ID:** 167388

ID 2^{do} Coautor: *Luis Héctor, Hernández-Gómez* / **ORC ID:** 0000-0003-2573-9672, **CVU CONACYT ID:** 5107

ID 3^{er} Coautor: *Juan Alfonso, Beltrán-Fernández* / **ORC ID:** 0000-0002-3527-1754, **CVU CONACYT ID:** 38335

DOI: 10.35429/H.2019.2.50.68

L. Villagran, M. Patiño, L. Hernández y J. Beltrán

yvillagran@uv.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Diaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

En el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias se han desarrollado e implantado Sistemas de Control Distribuido para Centrales de Ciclo Combinado, en los cuales se han detectado varias necesidades y oportunidades de desarrollo tecnológico. Una de las más importantes es el mejoramiento de estrategias de control de velocidad, potencia y temperatura de las unidades turbogás, basadas en algoritmos de control PI convencional para obtener una operación más confiable y rentable, ya que las unidades turbogás demandan requerimientos más estrictos a los sistemas de control; debido a que las unidades turbogás se caracterizan por operar a temperaturas, presiones y velocidades relativamente más altas que las de cualquier otro tipo de unidades. Una alternativa atractiva para mejorar las estrategias de control de las unidades turbogás es el empleo de técnicas de control basadas en lógica difusa, las cuales podrían superar algunas de las desventajas del control moderno y podrían satisfacer requerimientos más sofisticados que con el control convencional. La introducción de controladores difusos usualmente está acompañada de una disminución del desempeño y la aparición de cambios no deseados en la respuesta del proceso durante el ajuste de los parámetros del controlador, lo cual es inadmisibles en unidades turbogás de alto riesgo. En esta investigación se atiende este último problema presentando el diseño y desarrollo de un controlador tipo PI que combina las técnicas de lógica difusa y redes neuronales en un sistema híbrido para el control de velocidad de una unidad turbogás que puede ser aplicado sin impactar negativamente el desempeño y la respuesta del proceso, y que posteriormente puede usarse para mejorarlos. El controlador PI neurodifuso emula a un control PI convencional y su diseño se realiza mediante aprendizaje neuronal supervisado a partir de un conjunto de patrones de entrada-salida determinados por el controlador convencional. El desarrollo del controlador PI neurodifuso se llevó a cabo en dos etapas. En la etapa inicial, el conjunto de patrones de entrenamiento se genera a partir del mapeo estático definido por la estructura y los parámetros del controlador PI convencional. El desempeño del controlador neurodifuso fue verificado mediante una serie de experimentos de simulación con un proceso de primer orden con retardo. Los resultados obtenidos demuestran la equivalencia entre el control neurodifuso y el control convencional, por lo cual pueden ser utilizados indistintamente en la misma aplicación. Con la técnica anterior de diseño se necesita conocer con exactitud la estructura del controlador y sus parámetros, sin embargo, en una situación real estos requerimientos dificultan la aplicación de este método, razón por la cual, en una segunda etapa, se optó por generar el conjunto de patrones de entrada-salida a partir de su medición directa durante el arranque de una unidad turbogás. El desempeño del controlador neurodifuso obtenido fue verificado mediante experimentos de simulación del arranque de una unidad turbogás con el modelo de una unidad GE5001 de 56 MW, demostrando la equivalencia de ambos controladores. Con los resultados obtenidos se puede concluir que el control neurodifuso puede sustituir de manera directa al control convencional sin presentar cambios indeseables en la respuesta del sistema. Además, se tiene la ventaja de que no es necesario conocer la estructura y los parámetros del control convencional a sustituir, facilitando su aplicación práctica para el control de velocidad de una unidad turbogás. El mejoramiento del desempeño empleando el controlador PI neurodifuso es un problema adicional que se planteó como un problema de optimización, cuya solución permite mejorar características específicas de la operación durante el arranque de la unidad turbogás. La solución consistió en encontrar valores para los factores de escalamiento de las entradas y salidas del controlador que minimicen un índice de desempeño (función objetivo) arbitrario. El índice de desempeño se escoge de acuerdo a las características que se desean mejorar, por ejemplo el error de seguimiento de la curva de arranque, o el esfuerzo de control. Los resultados obtenidos muestran la mejora en el desempeño de la unidad turbogás, en las características consideradas en los índices de desempeño, lo cual demuestra la efectividad de la estrategia propuesta. Los resultados de esta investigación, para dar soluciones a los problemas de diseño de controladores neurodifusos y para mejorar el desempeño de las unidades turbogás, constituyen una aportación valiosa al conocimiento para lograr una operación más segura y rentable de las unidades turbogás a corto plazo.

Control neurodifuso, Turbina de gas, Redes neuronales, Control PI

Abstract

Several needs and opportunities have been detected during the development of Distributed Control Systems for Combined Cycle Power Plants at the National Institute of Electricity and Clean Energies. Among the most important is the improvement of the speed, power and temperature control strategies for turbogas units, currently based on conventional PI algorithms, to achieve safer and more profitable operation. To a great extent, this is because turbogas units pose a larger number of tighter requirements to the control system since these units operate at relatively higher temperature, speed and pressure than other power units. An attractive alternative to improve the control strategies at turbogas units consists on the deployment of control techniques based on fuzzy logic, which may supersede some of the disadvantages of modern control approaches and satisfy more sophisticated requirements than with conventional control. Nevertheless, deployment of fuzzy control is usually accompanied with a performance reduction and undesired upsets on the process response during the parameter tuning stage, which is unacceptable for high-risk turbogas units. This thesis research deals with the latest problem through the design and development of a PI like controller that merges fuzzy logic and neural network techniques into a hybrid system for speed control of a turbogas unit. The proposed controller may be applied without negatively impacting the process performance and response; later it could be used to improve them. The proposed neurofuzzy PI controller emulates a conventional PI controller; it is designed through supervised neural learning from a set of input-output patterns defined by the conventional controller. The neurofuzzy PI development is carried out in two stages. In the initial stage, the set of training patterns is generated through the static mapping defined by the structure and parameters of the conventional PI controller. Performance of this neurofuzzy PI controller was verified through simulation experiments with a first order with time-delay process model. Results show the equality of both the neurofuzzy controller and the conventional controller, thus they may be used interchangeably in the same application. In the former design approach, it is necessary to precisely know the controller structure and its parameters; nevertheless, these requirements may prevent application in a real world situation. Therefore, in a second development stage, it was decided to generate the input-output training patterns through direct measurement during the turbogas unit start-up. Performance of the resultant neurofuzzy controller was verified through start-up simulation experiments with the mathematical model of a 25 MW GE-5001 turbogas unit. Results show the equivalence of both controllers. With these results, it is concluded that the neurofuzzy controller can directly substitute the conventional controller without causing any undesirable upsets on the plant response. In addition, it is not necessary to know the structure and parameters of the conventional controller to be substituted, thus easing its application for speed control of a turbogas unit. The results of this research, in the form of solutions to the design of neurofuzzy controllers with a guarantee on their performance, constitute a worthy contribution towards achieving safer and more profitable operation of a turbogas unit in the short term.

Neuro-fuzzy control, Gas turbine, Neural network, PI controller

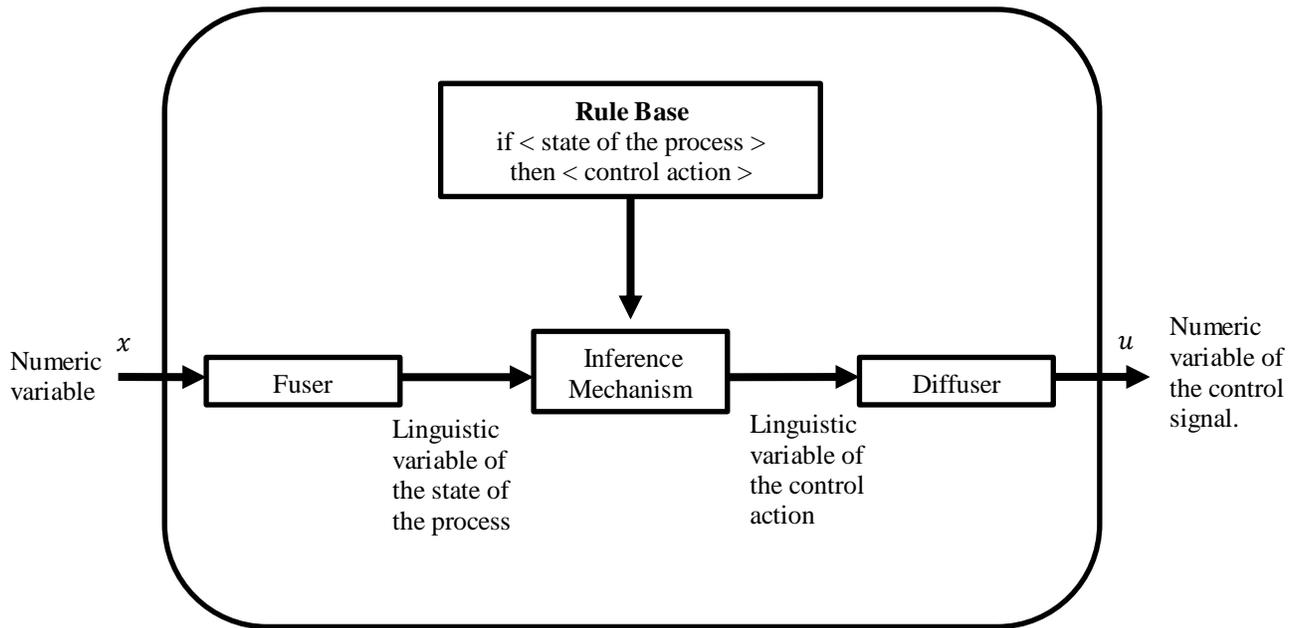
1. Introducción

Una alternativa atractiva para mejorar las estrategias de control de las unidades turbogás es el empleo de técnicas de control basadas en lógica difusa. Estas técnicas resultan atractivas porque no requieren un modelo matemático del proceso como las técnicas de control moderno y cuentan con medios adicionales para satisfacer requerimientos de operación más sofisticados que con el control convencional.

Un controlador difuso (CD) genera la señal de control mediante un proceso de inferencia que emula el razonamiento humano, utilizando reglas de procedimiento y conocimiento sobre el estado del proceso. La parte medular de un controlador difuso es un sistema de inferencia difuso formado por cuatro componentes principales: fusificador, base de reglas, mecanismo de inferencia y defusificador (Figura 4.1). Cualitativamente, la operación del controlador es la siguiente: El fusificador transforma las variables numéricas de entrada al controlador en variables lingüísticas que describen el estado del proceso. La base de reglas contiene el conocimiento de los procedimientos de control para la planta en cuestión en forma de reglas de procedimiento del tipo: si <estado del proceso> entonces <acción de control>, a partir de los valores de las variables lingüísticas de entrada, el mecanismo de inferencia determina que reglas son activadas, las evalúa y obtiene conclusiones respecto a las acciones de control a ejercer sobre la planta, emulando los mecanismos de razonamiento humano.

El desfusificador transforma las acciones de control expresadas como variables lingüísticas a un valor numérico [Wang, 1997].

Figura 4.1 Sistema de inferencia difuso



Los controladores difusos directos se caracterizan por encontrarse dentro de un lazo de control y son aplicados en lugar de un controlador convencional. Debido al tipo de aplicación en esta investigación resultan de interés los controladores difusos que emulan a los controladores PID, y de manera más específica interesa el diseño de los sistemas de inferencia de los controladores difusos que sean capaces de sustituir a un controlador PI convencional. [Sánchez, 2019].

En general, el diseño de un sistema de inferencia difuso no es una tarea trivial, ya que se necesitan tomar muchas decisiones, entre las que destacan las siguientes: seleccionar el método de fusificación, seleccionar el método de inferencia, seleccionar el método de desfusificación, determinar el universo de discurso, determinar los factores de escalamiento, determinar las funciones de membresía de la entrada del sistema, determinar las funciones de membresía de la salida del sistema, determinar la base de reglas, seleccionar el conectivo entre premisas, determinar los parámetros y el contenido de las reglas.

Los problemas de interés en este trabajo son para determinar la estructura y el ajuste de los parámetros del sistema de inferencia de un controlador difuso. El problema del ajuste o sintonización consiste en determinar el valor de los parámetros que definen a las funciones de membresía de los antecedentes y de los consecuentes de las reglas. Tradicionalmente, el ajuste de los parámetros de un sistema de inferencia difuso es realizado mediante un proceso de ensayo y error. Este proceso de sintonización manual es muy laborioso y susceptible de tener errores, lo cual podría causar respuestas indeseables en el sistema; degradando significativamente su desempeño. Esta situación es inadmisibles en procesos de alto riesgo como lo es una UTG, por esta razón es deseable contar con un método que permita realizar el proceso de sintonización en forma automática.

Los sistemas neurodifusos pueden ser empleados en la corrección de errores, clasificación de datos, predicción de valores, etc. En esta investigación se muestra un sistema neurodifuso que permite automatizar el diseño de un sistema de inferencia difuso. En un sistema neurodifuso (SND) se fusionan conceptos de sistemas difusos y redes neuronales para obtener un solo sistema que presente las ventajas de ambas técnicas. El interés de las redes neuronales es contar con su capacidad de aprendizaje, optimización, y una estructura que garantice una degradación paulatina del desempeño del sistema en caso de falla. Así mismo, los sistemas de inferencia difusos permiten contar con la capacidad de operar bajo incertidumbre con conocimiento aproximado, procesar información con reglas de inferencia del tipo si-entonces, y tener facilidad para incorporar e interpretar el conocimiento de operadores expertos para el control de procesos.

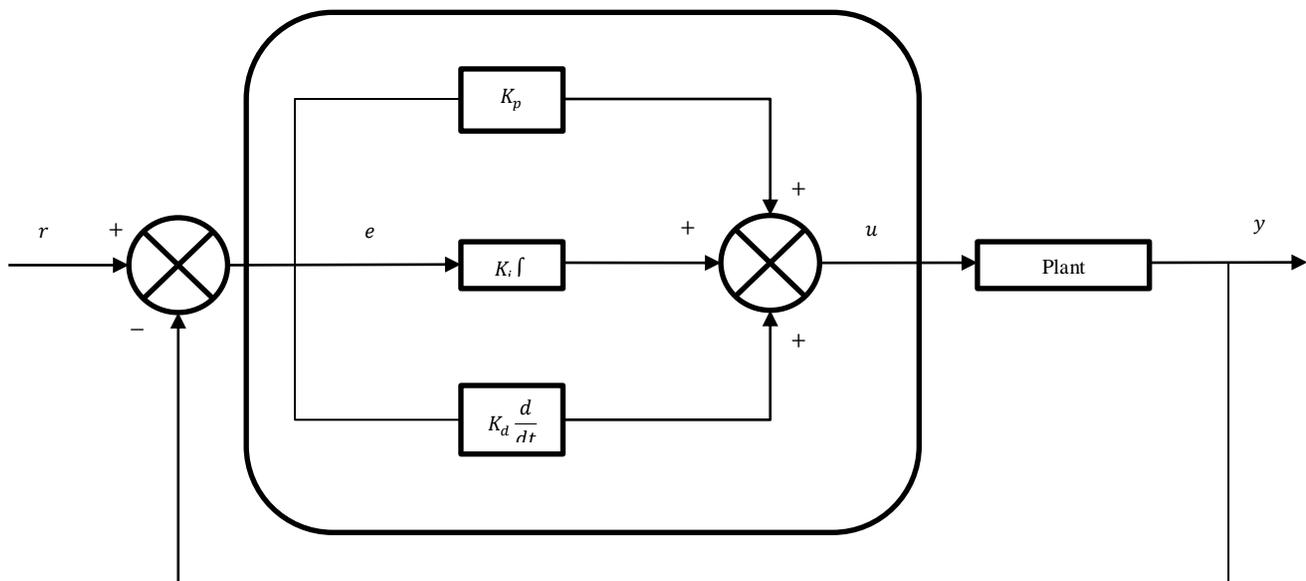
En la literatura se encuentran disponibles diversos paradigmas de sistemas neurodifusos, entre los más atractivos para ser aplicados al diseño de un controlador neurodifuso se encuentran los siguientes: FALCON (Fuzzy Adaptive Learning Control Network) propuesto por [Lin y Lee, 1991] que ha sido usado para estudiar estrategias de aprendizaje de estructura y parámetros; ARIC (Approximate Reasoning-based Intelligent Control) propuesto por [Berenji, 1992] que utiliza varias redes neuronales prealimentadas; GARIC (Generalized ARIC) propuesto para mejorar el método ARIC [Berenji y Khedkar, 1992]; ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System) propuesto por [Jang, 1993] para aproximar funciones usando sistemas difusos del tipo Sugeno; NEFCON (Neuro Fuzzy Control) capaz de aprender y optimizar las reglas básicas de un sistema difuso del tipo Mamdani [Nauck, 1994]; NNDFR (Neural Network Driven Fuzzy Reasoning) por [Takagi, 1991] basada en redes neuronales comunes que son estructuradas con técnicas de sistemas difusos; FuNe por [Halgamuge, 1994] basado en la arquitectura de una red neuronal prealimentada de cinco capas.

Entre los paradigmas neurodifusos mencionados se destacan ANFIS y NEFCON. ANFIS representa a un sistema de inferencia tipo Sugeno mediante una red neuronal prealimentada de cinco capas, cuyos parámetros son determinados por un procedimiento de retropropagación usando mínimos cuadrados. NEFCON representa aun sistema de inferencia difuso tipo Mamdani mediante una red tipo perceptrón de 3 capas y los parámetros son encontrados por retropropagación usando medidas de error difuso. En este proyecto se utiliza el paradigma ANFIS debido a su disponibilidad en software comercial.

1.1. Configuración del controlador PI neurodifuso

El diseño de la estructura del controlador PI neurodifuso parte de la estructura de un controlador PID (Figura 4.2).

Figura 4.2 Controlador PID Convencional



La señal de control del controlador PID convencional se calcula con:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + u_o \quad (1.1)$$

En donde: $u(t)$ es la salida de la señal de control, $e(t)$ es señal de error, t es el tiempo, K_p es la ganancia proporcional, K_i es la ganancia integral y K_d es la ganancia derivativa.

Dado que la implementación del controlador se hará en un controlador digital, es necesario tener una expresión en tiempo discreto de la señal de control, con este fin la derivada y la integral del error se aproximan numéricamente como:

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (1.2)$$

$$\int_0^t e(t)dt = T \sum_{i=0}^{k-1} e(i) \quad (1.3)$$

En donde k es el instante de muestreo y T es el periodo.

Sustituyendo (1.2) y (1.3) en (1.1) se obtiene la expresión:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i T \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + K_d \frac{1}{T} (e(k) - e(k-1)) + u_0 \quad (1.4)$$

La configuración tipo posición del controlador PID en (1.4) proporciona la acción de control directamente. Sin embargo, para la programación en computadora del algoritmo de control se prefiere una expresión recurrente de la forma:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (1.5)$$

En donde $\Delta u(k)$ es el cambio en la señal de control entre dos instantes de muestreo consecutivos.

Rescribiendo (1.5) como:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) \quad (1.6)$$

y tomando en cuenta que de (1.4):

$$u(k-1) = K_p e(k-1) + K_i T \sum_{i=0}^{k-2} e(i) + K_d \frac{1}{T} (e(k-1) - e(k-2)) + u_0 \quad (1.7)$$

$$\Delta u(k) = K_p (e(k) - e(k-1)) + K_i T e(k-1) + \frac{K_d}{T} (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (1.8)$$

En conjunto las ecuaciones (1.8) y (1.5) constituyen una expresión alternativa para el controlador PID convencional en tiempo discreto denominada de tipo velocidad.

Para los objetivos de este trabajo se requiere un controlador PI, el cual puede obtenerse haciendo $K_d=0$ en (1.8):

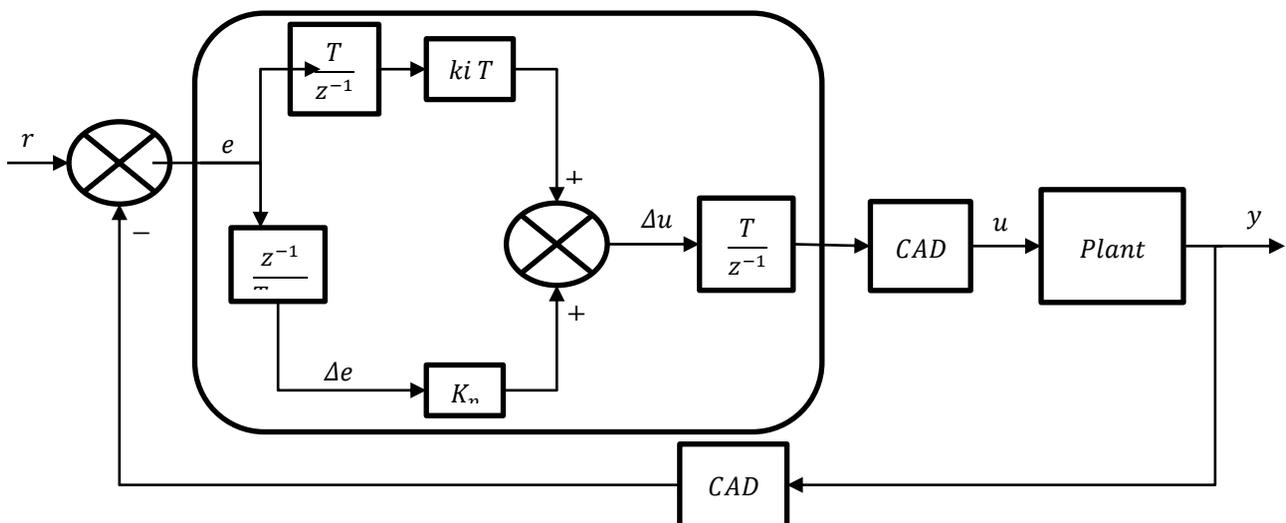
$$\Delta u(k) = K_p (e(k) - e(k-1)) + K_i T e(k-1) \quad (1.9)$$

ó en forma equivalente:

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i T e(k-1) \quad (1.10)$$

En donde $e(k)$, definida apropiadamente, es el cambio en la señal de error. Con base en esta última relación la estructura de un controlador PI convencional sería como se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3 Configuración del controlador PI convencional digital



De la relación (1.10) puede verse que un controlador PI define un mapeo estático, $R^2 \rightarrow R$, del error anterior, $e(k-1)$, y el cambio del error actual, $\Delta e(k)$, a el cambio en la acción de control actual, $\Delta u(k)$. Este mapeo estático puede ser aproximado por un sistema de inferencia difuso de dos entradas y una salida, tal y como se muestra en la Figura 4.4, ya que los sistemas difusos son aproximadores universales que pueden aproximar cualquier relación estática no lineal entre sus entradas y salidas con cualquier nivel de precisión deseado [Wang, 1997]. De esta manera, la estructura del controlador PI convencional (Figura 4.3) define la estructura del controlador PI neurodifuso (Figura 4.5). Nótese que ambos controladores presentan una configuración tipo velocidad, esto es, primero calculan el cambio en la señal de control y después la señal de control.

Figura 4.4 Aproximación del mapeo Estático del controlador PI mediante un sistema difuso

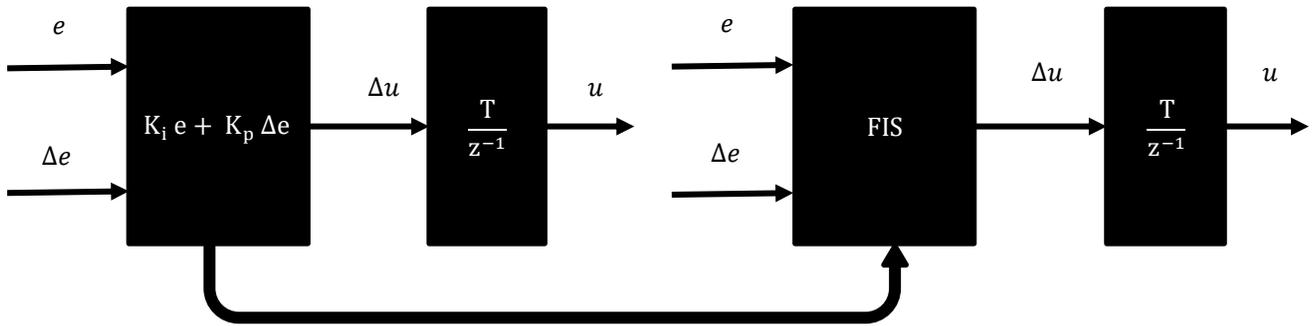
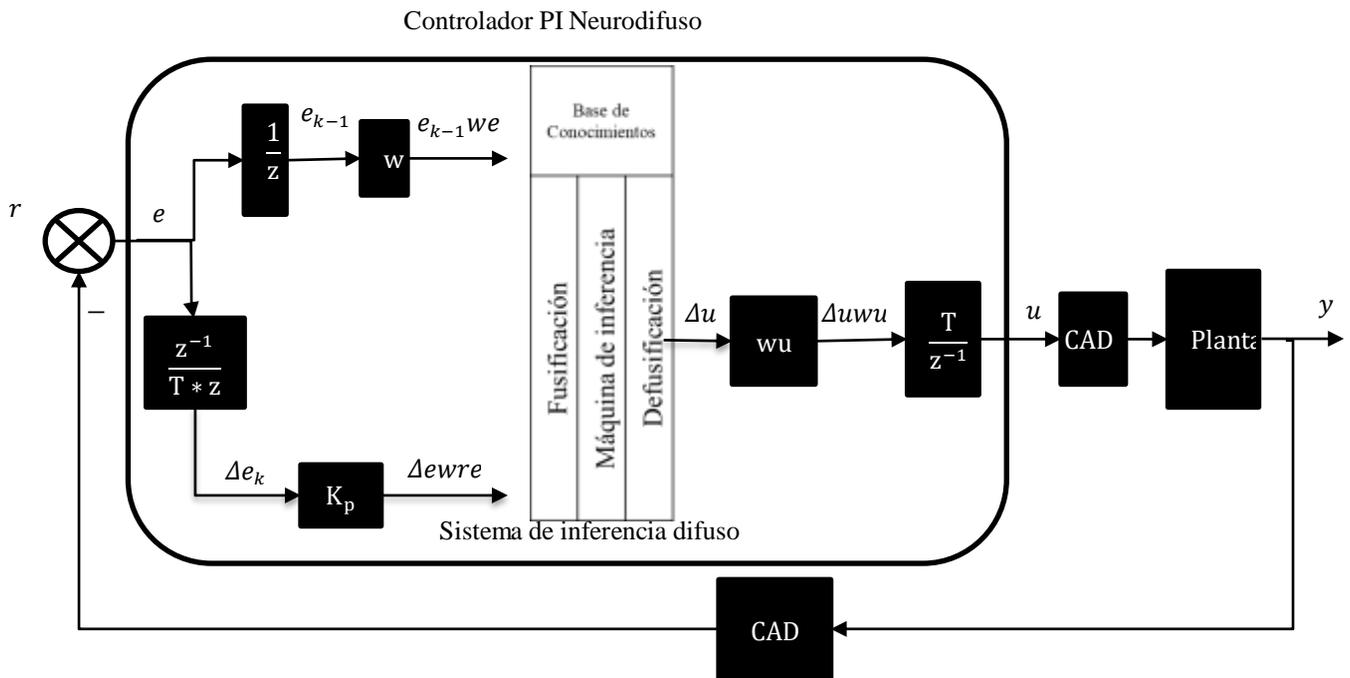


Figura 4.5 Configuración del controlador PI neurodifuso



1.2. Estructura del sistema de inferencia

Una vez que la estructura del controlador PI neurodifuso ha sido definida, el siguiente problema consiste en definir la estructura del sistema de inferencia difuso correspondiente, para lo cual es necesario adelantarse y considerar el problema de la determinación de los parámetros del sistema de inferencia difuso. El ajuste de los parámetros de los diversos componentes de un sistema difuso para aproximar el mapeo estático del controlador PI convencional, con una precisión razonablemente buena, no es una tarea trivial que puede ser ejecutada por ensayo y error; la respuesta de la unidad turbogás puede deteriorarse o pueden ocurrir trastornos importantes en la operación, siendo ambas situaciones inaceptables para las unidades turbogás, que son consideradas como procesos de alto riesgo. A este respecto, los métodos de aprendizaje con redes neuronales pueden ser utilizados ventajosamente para llevar a cabo esta tarea. Para ello, el sistema difuso debe ser representado como una red neuronal, de ahí el nombre de controlador PI neurodifuso.

Entonces, la determinación de los parámetros del sistema difuso es equivalente a encontrar los parámetros de la red neuronal, los cuales son calculados por el algoritmo de aprendizaje neuronal.

En este trabajo, los parámetros del sistema difuso son calculados con el método de aprendizaje neuronal ANFIS [Jang, 1993] que se encuentra comercialmente disponible como una librería del paquete de programación Matlab. En el método ANFIS se requiere que el sistema difuso sea del tipo TSK (Takagi- Sugeno-Kan), con reglas de inferencia de la forma:

$$\text{SI } \langle e(k-1) \text{ es } LE_r \rangle \text{ y } \langle \Delta e(k) \text{ es } L\Delta E_r \rangle \text{ ENTONCES } \Delta u_r(k) = p_r e(k-1) + q_r \Delta e(k) + k_r \quad (1.11)$$

En donde $r = 1, 2, \dots, R$ es el número de regla, LE_r y $L\Delta E_r$ son los valores lingüísticos de las señales de entrada e y Δe respectivamente, en la r -ésima regla, Δu es la contribución de la r -ésima regla a la salida total del sistema difuso, y p_r , q_r y k_r son los coeficientes del consecuente de la r -ésima regla.

Para un patrón de entrada determinado $[e(k-1)\Delta e(k)]$, la salida del sistema difuso tipo TSK, $\Delta u(k)$, está dada por:

$$\Delta u(k) = \frac{\sum_{r=1}^R w^r \Delta u^r(k)}{\sum_{r=1}^R w^r} \quad (1.12)$$

En donde w^r , para $r = 1, 2, \dots, R$, es el grado de cumplimiento o peso de disparo de la r -ésima regla. Para cada regla, su grado de cumplimiento es calculado como el producto de los valores de pertenencia de las entradas:

$$w^r = \mu_{LE^r}(e(k-1))\mu_{L\Delta E^r}(\Delta e(k)) \quad (1.13)$$

$$\mu_{LE^r}(\cdot) \text{ y } \mu_{L\Delta E^r}(\cdot) \quad (1.14)$$

ésima regla. En preparación para la representación del sistema difuso TSK mediante una red neuronal, la salida (1.12) puede escribirse como:

$$\Delta u(k) = \sum_{r=1}^R \left(\frac{w^r}{\sum_{r=1}^R w^r} \right) \Delta u^r = \sum_{r=1}^R \bar{w}^r \Delta u^r = \sum_{r=1}^R \bar{\Delta u}^r \quad (1.15)$$

En donde \bar{w}^r , para $r = 1, 2, \dots, R$, son los llamados grados relativos (normalizados) de cumplimiento de las reglas:

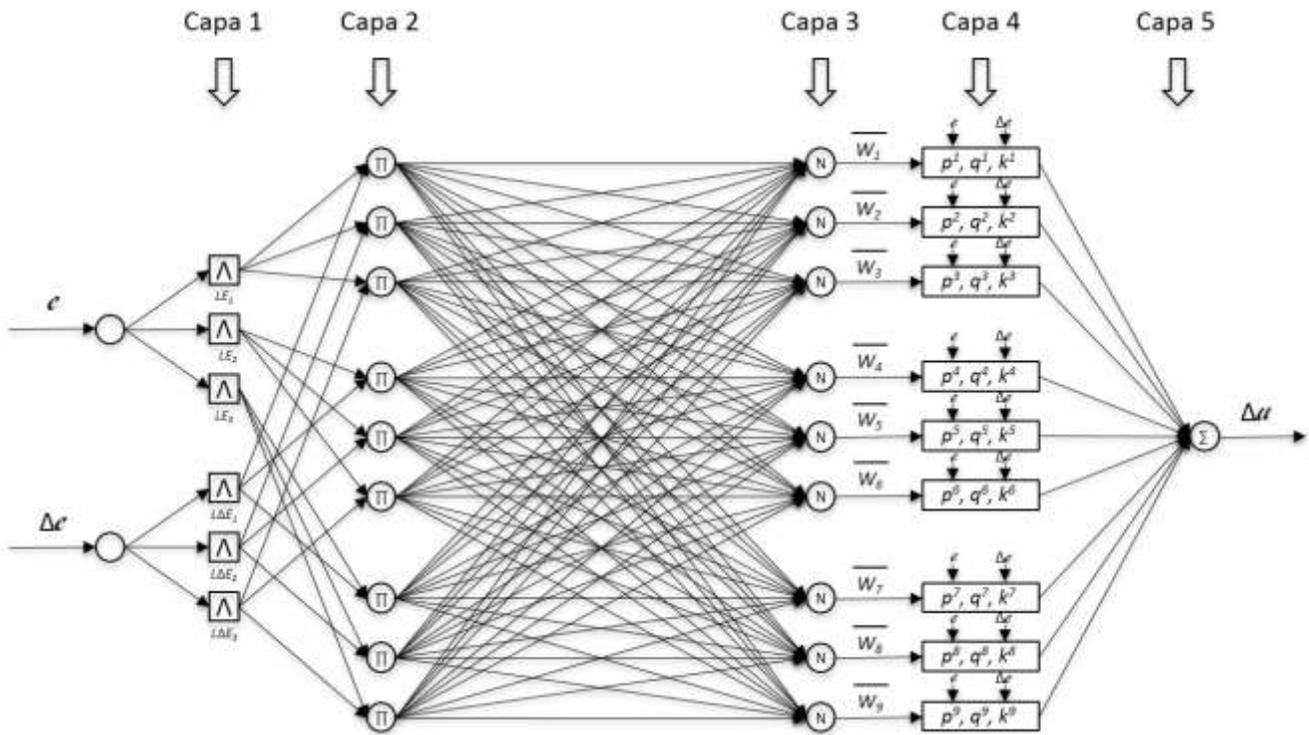
$$\bar{w}^r = \frac{w^r}{\sum_{r=1}^R w^r} \quad (1.16)$$

Y los $\bar{\Delta u}^r$, para $r = 1, 2, \dots, R$, pueden ser equivalentemente llamados consecuentes normalizados:

$$\bar{\Delta u}^r = \bar{w}^r \Delta u^r \quad (1.17)$$

El sistema de inferencia difuso TSK es representado mediante una red neuronal prealimentada (feedforward) de cinco capas, como se muestra en la Figura 4.6 para el caso en que cada entrada tiene tres funciones de pertenencia (valores lingüísticos). A grandes rasgos, la red neuronal fusifica las entradas en la capa 1, implementa una regla de inferencia por cada fila horizontal en las tres capas intermedias, y compone el cambio en la señal de control en la última capa.

Figura 4.6 Representación del sistema de inferencia difuso como una red neuronal



En forma más precisa y para el caso de la Figura 4.6, la operación de la red neuronal que representa al sistema difuso del controlador PI neurodifuso es la siguiente:

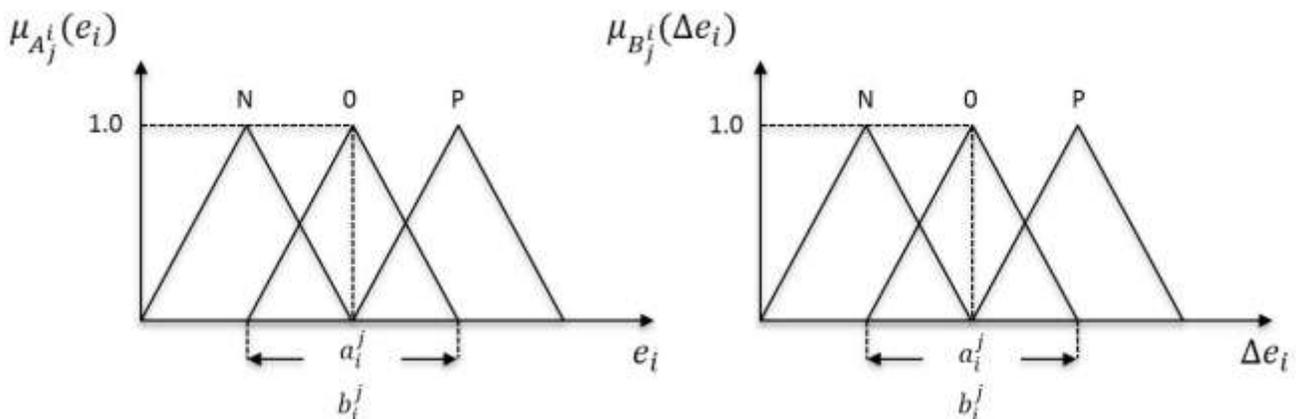
Capa 1. En esta capa, en cada neurona, se fusifica la señal de entrada (1.14) utilizando una función de pertenencia triangular (Figura 4.7):

$$O_{l,i} = \mu_{LE_i}(\Delta e(k)) = 1 - \frac{2|e(k-1) - a_i|}{b_i} \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (1.18)$$

$$\mu_{\Delta LE_1}(\Delta e(k)) = 1 - \frac{2|e(k-1) - a_i|}{b_i} \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (1.19)$$

En donde $O_{l,i}$ denota la salida de la i -ésima neurona de la Capa 1, LE_i , para $i=1, 2, 3$, y $L\Delta E_i$, para $i = 4, 5, 6$, son los términos lingüísticos (N: negativo, 0: cero, y P: positivo) implementados en cada neurona, y a_i y b_i denotan el centro y el ancho de la base del triángulo correspondiente. Los parámetros a_i y b_i serán ajustados por el algoritmo de aprendizaje y por tanto las neuronas de la Capa 1 son consideradas como nodos adaptables.

Figura 4.7 Funciones de pertenencia triangulares



Capa 2. Las neuronas de esta capa calculan el grado de cumplimiento de las reglas (1.13), una regla por neurona, utilizando el producto algebraico para la norma T:

$$O_{2,r} = w^r = \mu_{LE^r}(e(k-1))\mu_{L\Delta E^r}(\Delta e(k)) \quad (1.20)$$

En donde $O_{2,r}$ es la salida de la r-ésima neurona, $r = 1, 2, \dots, 9$, es el número de regla. Nótese que el número de neurona y el número de regla coinciden. Por lo tanto los pesos son:

$$\begin{aligned} w_1 &= \mu_{LE1}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E1}(\Delta e(k)) & w_2 &= \mu_{LE1}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E2}(\Delta e(k)) & w_3 &= \mu_{LE1}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E3}(\Delta e(k)) \\ w_4 &= \mu_{LE2}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E1}(\Delta e(k)) & w_5 &= \mu_{LE2}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E2}(\Delta e(k)) & w_6 &= \mu_{LE2}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E3}(\Delta e(k)) \\ w_7 &= \mu_{LE3}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E1}(\Delta e(k)) & w_8 &= \mu_{LE3}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E2}(\Delta e(k)) & w_9 &= \mu_{LE3}(e_{(k-1)})\mu_{L\Delta E3}(\Delta e(k)) \end{aligned} \quad (1.21)$$

Las neuronas de esta capa son consideradas nodos fijos, etiquetados con Π , ya que no tienen parámetros que ajustar.

Capa 3. Las neuronas de esta capa calculan el grado relativo de cumplimiento (1.16) de las reglas, una regla por neurona, esto es, la r-ésima neurona calcula el grado relativo de cumplimiento de la r-ésima regla:

$$O_{3,r} = \bar{w}^r = \frac{w^r}{\sum_{r=1}^r w^r} \quad (1.22)$$

Las neuronas de esta capa también son consideradas como nodos fijos.

Capa 4. Las neuronas en esta capa calculan los consecuentes normalizados (1.17) para cada regla, una neurona por consecuente, esto es, la r-ésima neurona calcula el consecuente normalizado de la r-ésima regla:

$$O_{4,r} = \bar{\Delta u}^r(k) = \bar{w}^r \Delta u^r(k) = \bar{w}^r (p^r e(k-1) + q^r \Delta e(k) + k^r) \quad (1.23)$$

En donde p^r , q^r y k^r son los coeficientes del consecuente de la r-ésima regla, los cuales serán ajustados por el algoritmo de aprendizaje y por tanto las neuronas de la Capa 4 son consideradas como nodos adaptables.

Capa 5. El único nodo presente en esta capa es un nodo fijo, denotado por Σ , que calcula la salida del sistema difuso (1.15), o cambio en la señal de control, como la suma de todos los consecuentes normalizados:

$$O_5 = \Delta u(k) = \sum_{r=1}^R \bar{\Delta u}^r(k) \quad (1.24)$$

1.3. Procedimiento de sintonización del sistema difuso

El sistema difuso debió ser representado como una red neuronal con lo cual la determinación de los parámetros del sistema difuso es equivalente a encontrar los parámetros de la red neuronal que deben ser calculados con el método de aprendizaje neuronal ANFIS [Jang,1993]. Además, las reglas de inferencia son del tipo TSK como en (1.11) que se repite aquí por conveniencia:

$$\text{SI } \langle e(k-1) \text{ es } LE^r \rangle \text{ y } \langle \Delta e(k) \text{ es } L\Delta E^r \rangle \text{ ENTONCES } \Delta u^r(k) = p^r e(k-1) + q^r \Delta e(k) + k^r \quad (1.25)$$

Sin pérdida de generalidad, el problema de la sintonización del sistema difuso, suponiendo tres términos lingüísticos por entrada, puede definirse como sigue:

Dado un conjunto de M patrones de datos de entrada y salida $\{[e_1, \Delta e_1, \Delta u_1], [e_2, \Delta e_2, \Delta u_2], \dots, [e_M, \Delta e_M, \Delta u_M]\}$, generados por el controlador PI digital convencional, y un sistema difuso TSK definido por 9 reglas de la forma (1.25); el procedimiento ajusta los valores de los parámetros correspondientes a las funciones de membresía de las entradas del sistema difuso $\{[a_1, b_1], [a_2, b_2], \dots, [a_6, b_6]\}$, y a los coeficientes de los consecuentes de las reglas de inferencia $\{[p_1, q_1, k_1], [p_2, q_2, k_2], \dots, [p_9, q_9, k_9]\}$, para reproducir los patrones de datos de entrada y salida proporcionados.

El procedimiento de aprendizaje se lleva a cabo iterativamente, con dos fases por iteración. Primero, los patrones de entrada se propagan manteniendo constantes los parámetros de las funciones de pertenencia, y se calculan valores óptimos para los coeficientes de los consecuentes, usando un procedimiento de mínimos cuadrados estimados (Least Square Estimate - LSE). Segundo, los patrones de entrada se propagan nuevamente, manteniendo constantes los coeficientes de los consecuentes recién calculados, y entonces los parámetros de las funciones de transferencia se modifican por la regla de retropropagación. En lo que sigue, ambas fases son explicadas con más detalle.

Por una parte, los coeficientes de los consecuentes son calculados usando un procedimiento de mínimos cuadrados estimados (LSE) tomando en cuenta que cada patrón de entrada-salida se relaciona por:

$$\Delta u_m = \sum_{r=1}^9 \bar{w}^r (p^r e_m + q^r \Delta e_m + k^r) \quad (1.26)$$

Donde $m = 1, 2, \dots, M$ es el índice de patrones de entrada-salida. Usando vectores y considerando los M patrones de entrenamiento de entrada-salida se puede escribir:

$$\begin{bmatrix} \Delta u \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta u_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{w}^{-1} e_1 & \bar{w}^{-1} \Delta e_1 & \bar{w}^{-1} & \cdot & \cdot & \cdot & \bar{w}^{-9} e_1 & \bar{w}^{-9} \Delta e_1 & \bar{w}^{-9} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \bar{w}^{-1} e_M & \bar{w}^{-1} \Delta e_M & \bar{w}^{-1} & \cdot & \cdot & \cdot & \bar{w}^{-9} e_M & \bar{w}^{-9} \Delta e_M & \bar{w}^{-9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^1 \\ q^1 \\ k^1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p^9 \\ q^9 \\ k^9 \end{bmatrix} \quad (1.27)$$

Que mediante definiciones apropiadas puede escribirse como:

$$U = XC \quad (1.28)$$

Donde U es $M \times 1$, X es $M \times (3) (9) = M \times 27$, y C es 27×1 . En general el problema de calcular los coeficientes en C es sobre determinado, es decir, $M > 27$. Una solución LSE para C puede ser calculada recursivamente usando: [Naucke,1997]

$$C_{i+1} = C_i + \psi_{i+1} x_{i+1} (u_{i+1}^T - x_{i+1}^T C_i) \quad (1.29)$$

$$\psi_{i+1} = \psi_i - \frac{\psi_i x_{i+1} x_{i+1}^T \psi_i}{1 + x_{i+1}^T \psi_i x_{i+1}} \quad (1.30)$$

Donde x_i es el i -ésimo vector renglón de la matriz X y u_i es el i -ésimo elemento del vector u , para $i=0, 1, 2, \dots, M-1$, Ψ es llamada la matriz de covarianza y T es la transpuesta. Las condiciones iniciales son $C_0 = 0$ y $\Psi_0 = \gamma I$, donde I es una matriz identidad de tamaño 27 y γ es un número positivo grande. Al final de las iteraciones, $C = CM$ habrá sido calculada usando toda la información disponible en los M patrones de entrada-salida.

Por otra parte, los cambios en los parámetros de las funciones de membresía se determinan por medio de retropropagación. Supongamos que z sea cualquiera de los parámetros a, b de cualquier función de membresía μ , y que E_{i0} sea la medida del error usual dada por el cuadrado de la diferencia entre la salida deseada Δu^* y la salida actual, Δu :

$$E_{i0} = \frac{1}{2} (\Delta u^* - \Delta u)^2 \quad (1.31)$$

Entonces, el cambio en los parámetros z , Δz , para una sola regla después de que un patrón ha sido propagado, está dado por:

$$\Delta z = -\sigma \frac{\partial E_{io}}{\partial z} \quad (1.32)$$

Donde

La aplicación sucesiva de la regla de la cadena a (1.31) a través de cada una de las capas de la red neuronal produce:

$$\begin{aligned} \Delta z &= -\sigma \frac{\partial E_{io}}{\partial z} \frac{\partial \Delta u}{\partial w^r} \frac{\partial \bar{w}^r}{\partial w^r} \frac{\partial w^r}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial z} \\ &= -\sigma (\Delta u^* - \Delta u) \Delta u^r \frac{\bar{w}^r (1 - \bar{w}^r) w^r}{w^r} \frac{\delta \mu}{\partial z} \\ &= \frac{\sigma}{\mu} \Delta u^r (\Delta u^* - \Delta u) \bar{w}^r (1 - \bar{w}^r) \frac{\delta \mu}{\partial z} \end{aligned} \quad (1.33)$$

$$\frac{\delta u}{\delta a} = \frac{2 \operatorname{sgn}(e^{(k-1)} - a_i)}{b_i \mu_i e^{(k-1)}} \quad (1.34)$$

$$\frac{\delta \mu}{\delta b} = \frac{1 - \mu e^{(k-1)}}{b_i \mu_i e^{(k-1)}} \quad (1.35)$$

De esta manera, los cambios de los parámetros a y b, Δa y Δb , respectivamente, en una regla después de que el patrón ha sido propagado pueden calcularse sustituyendo (1.34) y (1.35) en (1.33).

$$\Delta a = -\frac{\sigma}{\mu} \Delta u^r (\Delta u^* - \Delta u) w^r (1 - \bar{w}^r) \frac{2 \operatorname{sgn}(e^{(k-1)} - a_i)}{b_i \mu_i e^{(k-1)}} \quad (1.36)$$

$$\Delta b = -\frac{\sigma}{\mu} \Delta u^r (\Delta u^* - \Delta u) w^r (1 - \bar{w}^r) \frac{1 - \mu e^{(k-1)}}{b_i \mu_i e^{(k-1)}} \quad (1.37)$$

1.4. Procedimiento de aprendizaje

Como se mencionó anteriormente, el procedimiento de aprendizaje se lleva a cabo iterativamente y consiste de los siguientes pasos:

1. Propagar todos los patrones del conjunto de aprendizaje y determinar los coeficientes de los consecuentes por medio del LSE iterativo en (1.29) y (1.30). Durante este paso, los parámetros de las funciones de membresía permanecen fijos.
2. Propagar nuevamente todos los patrones y actualizar los parámetros de las funciones de pertenencia mediante retropropagación usando (1.36)-(1.37). Durante este paso, los coeficientes de los consecuentes permanecen fijos.
3. Si el error se reduce en cuatro pasos consecutivos, incrementar la tasa de aprendizaje en un 10%. Si el error es sometido a combinaciones consecutivas de incremento y disminución, entonces reduzca la tasa de aprendizaje en un 10%.
4. Parar si el error es bastante pequeño, de lo contrario, continuar con el paso 1.

Para aplicaciones prácticas, el proceso de aprendizaje se incorpora en un proceso de diseño de tres etapas. Primero, un conjunto de datos de entrada-salida, para usarse como datos de entrenamiento, necesita ser generado u obtenido por el proceso. Otro conjunto opcional de datos puede usarse como prueba de datos después del entrenamiento para evaluar el desempeño del proceso de aprendizaje. Segundo, es necesario crear estructuras iniciales para el sistema difuso. Para cada entrada, el rango de operación número de funciones de membresía, al igual que su forma, debe definirse. Por último, el proceso de aprendizaje se lleva a cabo usando el conjunto de datos de entrenamiento para ajustar las funciones de membresía y para determinar los parámetros de los consecuentes.

El sistema difuso resultante se verifica usando el conjunto de datos de prueba. La totalidad de este procedimiento de aprendizaje se tiene disponible en la librería de sistemas difusos de Matlab/Simulink [Jang, 2000].

1.5. Estrategias para generación de patrones de entrenamiento

La obtención de los M patrones entrada y salida, que son utilizados como datos de entrenamiento para la red del sistema neurodifuso, se realiza en dos versiones esencialmente diferentes. En la primera versión los datos se obtienen a partir de la ecuación del mapeo estático implícitamente definido por el controlador PI convencional. En la segunda versión, los datos se obtienen por medición directa en las entradas y salidas del controlador PI convencional. Los patrones de entrada y salida para la verificación del sistema neurodifuso son obtenidos de la misma manera.

1.6. Obtención de datos a partir de mapeo estático

Los datos de entrenamiento se obtienen por medio de la ecuación (1.10), que establece el mapeo estático, $R^2 \rightarrow R$, definido por el controlador PI convencional. Primeramente, los patrones de entrada se definen como puntos en el plano e x Δe en un rectángulo definido por los intervalos $e_{\min} \leq e \leq e_{\max}$ y $\Delta e_{\min} \leq \Delta e \leq \Delta e_{\max}$. Los puntos se distribuyen uniformemente en el área del rectángulo, para lo cual se considera un número determinado (p. ej. 10) de puntos en cada intervalo formando los conjuntos de puntos:

$$E = \{e_{\min}, e_{\min} + \delta e, e_{\min} + 2\delta e, \dots, e_{\min} + n\delta e = e_{\max}\} \quad (1.38)$$

$$\Delta E = \{\Delta e_{\min}, \Delta e_{\min} + \delta \Delta e, \Delta e_{\min} + 2\delta \Delta e, \dots, \Delta e_{\min} + n\delta \Delta e = \Delta e_{\max}\} \quad (1.39)$$

$$\delta e = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{n}, \quad n_{\text{entero}}$$

$$\delta \Delta e = \frac{\Delta e_{\max} - \Delta e_{\min}}{n}, \quad m_{\text{entero}} \quad (1.40)$$

Así, los patrones de entrada son los puntos definidos por el producto cartesiano de los conjuntos E y Δ :

$$E \times \Delta E = \{(x, y) | x \in E\} \quad (1.41)$$

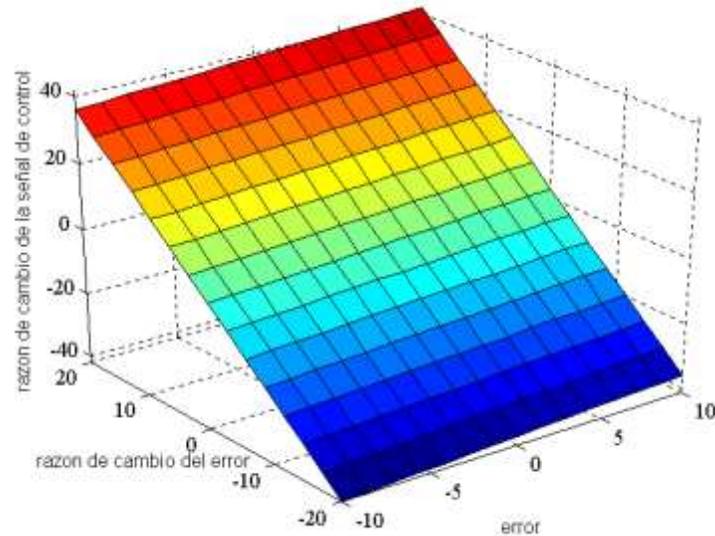
Entonces, los patrones de salida se obtienen calculando Δu para cada punto $E \times \Delta E$ usando la ecuación del mapeo estático (1.10).

Por lo tanto, el conjunto de patrones de entrada y salida es el conjunto

$$\{(e, \Delta e; \Delta u)\} = \{(x, y, z) | (x, y) \in E \times \Delta E, z = K_i x + K_p y\} \quad (1.42)$$

Como un ejemplo, supóngase que $K_1 = .1$, $K_p = 3.5$, $e_{\max} = 10$, $e_{\min} = -e_{\max} = -10$, $\Delta e_{\max} = 20$, $\Delta e_{\min} = -\Delta e_{\max} = -20$, $n = 20$, $m = 40$. Con estos datos el conjunto de patrones de entrada y salida determina el plano en R^3 que se muestra en la Figura 1.8. Del mismo modo, el sistema neurodifuso que se obtenga con este conjunto de datos reproducirá el mismo plano (Figura 4.8)

Figura 4.8 Mapeo estático definido por el controlador PI convencional

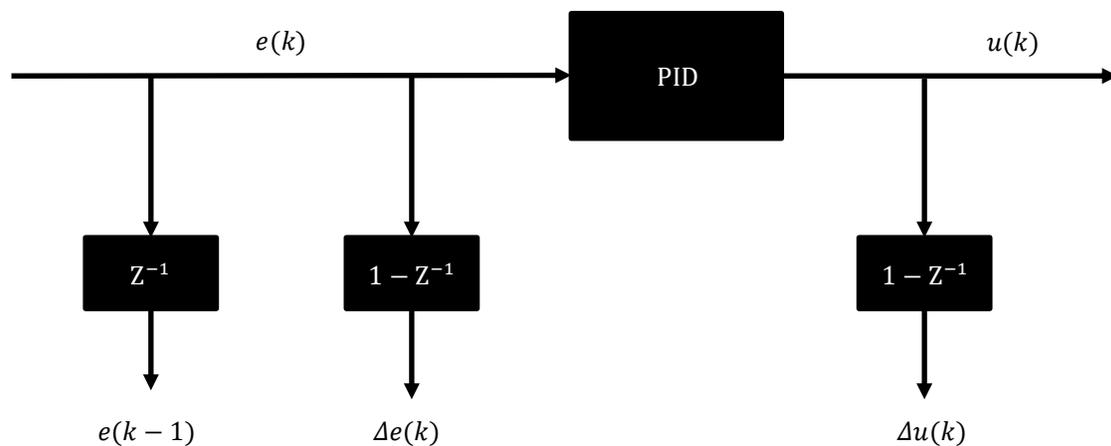


Aunque muy conveniente, esta forma de generar los patrones de entrenamiento requiere del conocimiento preciso de los parámetros del controlador PI convencional y que la estructura de ambos controladores PI, convencional y neurodifuso, sea la misma. Estos requerimientos podrían limitar la aplicación de este método en un caso real.

1.7. Obtención de datos por medición directa

Esta versión para la obtención de los datos de entrenamiento se desarrolló para evitar las limitaciones de la versión anterior y darle mayor versatilidad al método de diseño de controladores PI neurodifusos que la usen. Los patrones de entrada y salida se obtienen por medición directa en la(s) entrada(s) y la salida del controlador PI convencional, tal y como se muestra en la Figura 4.9

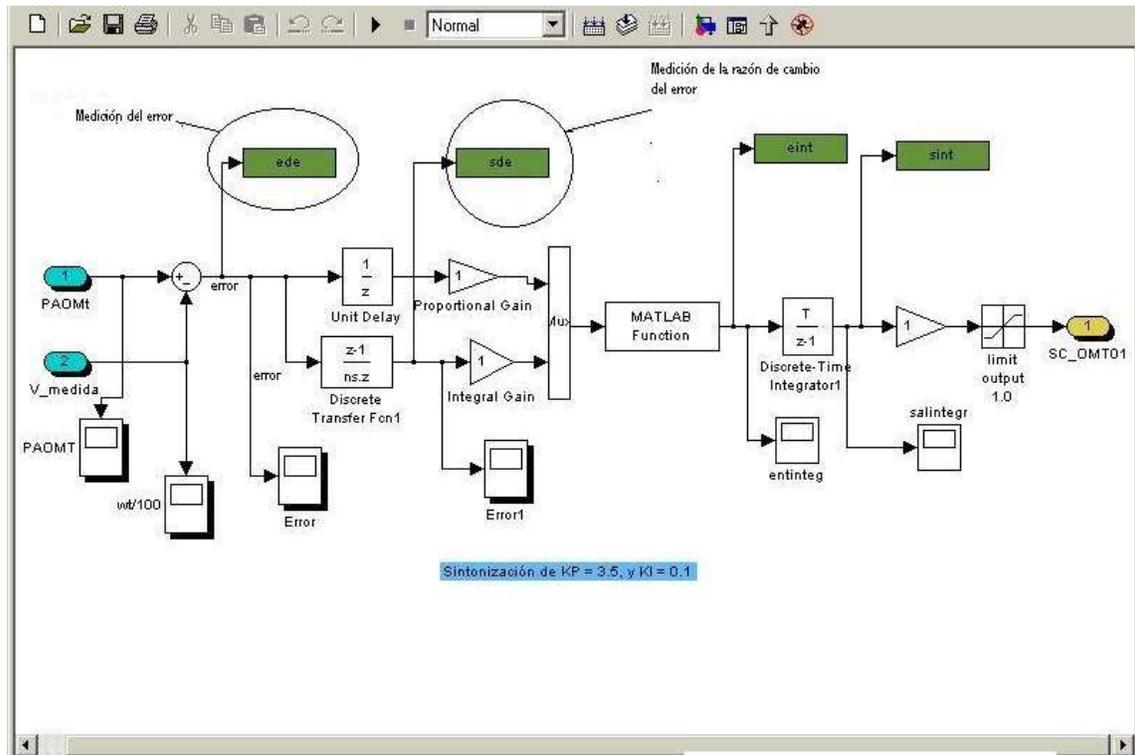
Figura 4.9 Medición directa de datos entrada-salida



Posiblemente, la única limitación de esta versión sería la dificultad del acceso a las señales del error y de control. Se obtuvieron los patrones de datos de entrada y salida para el desarrollo del controlador PI neurodifuso para la UTG. La medición de los datos de entrada y salida se llevó a cabo directamente, en el ambiente de simulación de la UTG en Simulink. El diagrama de simulación está compuesto por tres secciones principales: control, secuenciador y turbogenerador. Las variables de entrada y salida deseadas se encuentran localizadas en la sección de control, por lo que en esa sección se realizaron los arreglos correspondientes para la lectura de datos entrada-salida (Figura 4.10).

Los datos de entrada y salida se recolectan durante la simulación del arranque de la UTG, asegurándose que los datos de entrada y los de salida sean recolectados en los mismos instantes de muestreo. Los parámetros recolectados son almacenados en un archivo para su utilización posterior en el diseño del sistema neurodifuso del controlador.

Figura 4.10 Diagrama de simulación de la UTG en Simulink



1.8. Realización de sistemas de inferencia

Una vez que se cuenta con los datos de entrenamiento, obtenidos en la Sección 1.5, se puede proceder a crear los sistemas de inferencia. Los datos de entrenamiento generados a partir del mapeo estático son utilizados para crear dos sistemas neurodifusos que son utilizados para el control de un sistema de primer orden con retardo. Por otra parte, los datos de entrenamiento obtenidos por medición directa son utilizados para construir otros dos sistemas neurodifusos para el control de una UTG. En todos los casos, los sistemas difusos son del tipo TSK, con fusificación tipo singletón, inferencia basada en reglas individuales, implicación por operador mínimo, norma-t: operador mínimo, norma-s: operador máximo, y composición de la salida por promedio ponderado. Las diferencias consisten en el tipo de consecuentes: lineal o constante. Las diferencias consisten en el tipo de consecuentes: lineal o constante. Los cuatro sistemas resultantes se describen a continuación.

Sistemas difusos de datos por mapeo.

Para el caso de reglas con consecuentes lineales, el sistema difuso TSK obtenido con $K_p=3.5$ y $K_i=1$. Las funciones de pertenencia del error y el cambio del error se muestran en las figuras 4.11 y 4.12, respectivamente.

Figura 4.11 Valores lingüísticos del error

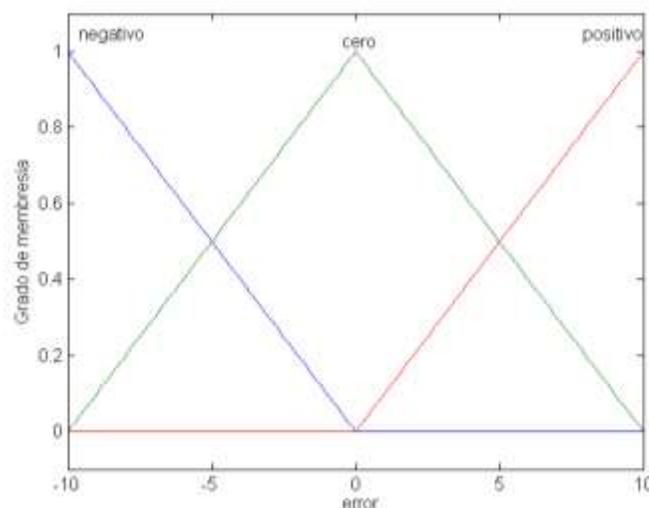
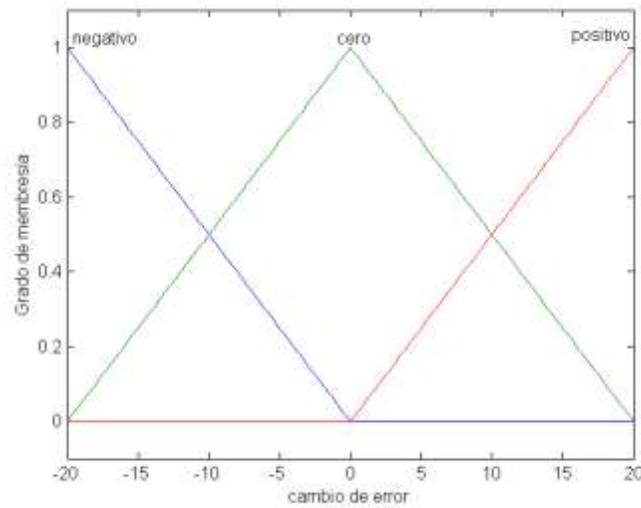


Figura 4.12 Valores lingüísticos de la razón del cambio del error

Los coeficientes de los consecuentes lineales se resumen en la Tabla 4.2, en donde los C_i , para $i=1, 2, \dots, 9$ representan los coeficientes de la i -ésima fila de la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Coeficientes de los consecuentes lineales (dados por mapeo)

| No. de regla | P | q | K |
|--------------|------------|------------|-------------|
| 1 | 4.09054210 | 6.49434637 | -1.10065470 |
| 2 | 4.09054184 | 6.49434595 | -.61358211 |
| 3 | 4.09054126 | 6.49434576 | -.1265027 |
| 4 | 4.09054136 | 6.49434618 | .48707679 |
| 5 | 4.09054198 | 6.49434625 | 2.10257901 |
| 6 | 4.09054146 | 6.49434626 | .48707514 |
| 7 | 4.09054100 | 6.49434589 | .12650775 |
| 8 | 4.09054200 | 6.49434602 | .61358046 |
| 9 | 4.09054172 | 6.49434618 | 1.10065966 |

Tabla 4.2 Reglas del sistema neurodifuso (consecuentes lineales, dados por mapeo)

| de/dt | e | | | |
|----------|-------|----------|----------|----------|
| | Du | Negativo | Cero | Positivo |
| Positivo | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
| Negativo | C_5 | C_6 | C_7 | C_8 |
| Cero | C_9 | C_{10} | C_{11} | C_{12} |

Para el caso del TSK con reglas con consecuentes constantes, las funciones de pertenencia del error y el cambio del error se muestran en las Figuras 4.13 y 4.14, respectivamente.

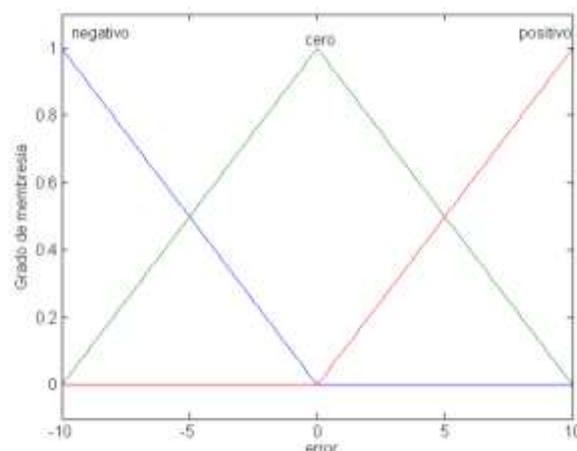
Figura 4.13 Valores lingüísticos del error

Figura 4.14 Valores lingüísticos de la razón del cambio del error

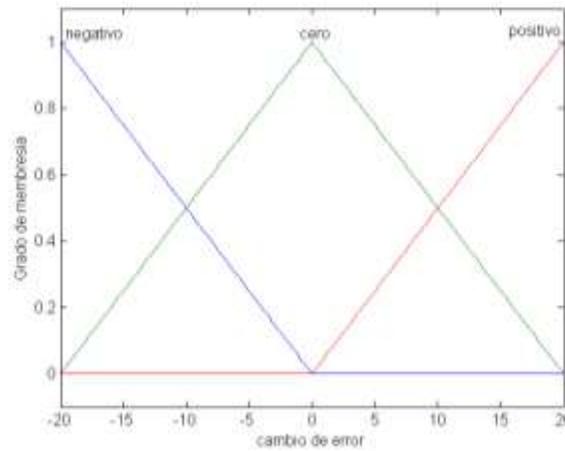


Tabla 4.3 Reglas del control neurodifuso

| | | e | | |
|-------|----------|----------------|----------------|----------------|
| | | Negativo | Cero | Positivo |
| de/dt | Positivo | 41.71099477482 | 2.792999923536 | 36.12499534375 |
| | Cero | 38.91799934850 | 7.7979627e-008 | 38.91799966870 |
| | Negativo | 36.12499558346 | 2.793000243738 | 41.71099370242 |

| | | e | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| | | Negativo | Cero | Positivo |
| de/dt | Positivo | 41.71099 | 2.792999 | 36.12499 |
| | Cero | 38.91799 | 7.797e-8 | 38.91799 |
| | Negativo | 36.12499 | 2.793000 | 41.71099 |

1.9. Agradecimiento

Este trabajo fue apoyado por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, SEPI-ESIME y el CONACYT.

1.10. Conclusiones

En este capítulo se presentó un controlador neurodifuso que emula la dinámica de un controlador PI convencional en configuración de velocidad. El sistema de inferencia difuso embebido en el controlador es del tipo TSK de primer orden e implementa un mapeo $R^2 \rightarrow R$, de la señal de error y su razón de cambio a la diferencial de la señal de control. El diseño del sistema de inferencia difuso se lleva a cabo fuera de línea empleando el método ANFIS con patrones de aprendizaje obtenidos de las entradas y la salida de un controlador PI convencional.

Los resultados obtenidos en las pruebas de análisis muestran que el controlador neurodifuso digital posee buenas características de desempeño, lo cual demuestra la factibilidad de emplearlo en el mismo tipo de aplicaciones que un controlador PI convencional mediante una sustitución directa.

Después de la demostración de factibilidad del controlador neurodifuso reportada, se tiene planeada su utilización para el control de la velocidad durante el arranque y el control de potencia generada de una unidad turbogás, en donde se tendrá en cuenta la disponibilidad de un gran número de parámetros para mejorar el rendimiento de la unidad bajo índices de desempeño específicos.

1.11. Referencias

Aström, K. J. y Hägglund, T. (1993). Automatic tuning an adaptation for PID controllers a survey. Control Engineering Practice. Vol. 1, No. 4, págs. 699-714.

- Azencott, R. (Editor) (1992). *Simulated Annealing: Parallelization Techniques*. John Wiley & Sons Inc. París, Francia.
- Berenguel, M. y Camacho, E.F. (1994). *Advances in Model Based Predictive Control. Application of generalized predictive control to a solar power plant*. Ed. D.W. Clarke. Oxford, Inglaterra.
- Berenji, H. y Khedkar, P. (1993). *Learning and tuning fuzzy logic controllers through reinforcements*. IEEE Transactions on Neural Networks. Vol. 3, No. 5, págs. 724-740.
- Carretero, M. y De Lara S. (2001). *Sistema para Desarrollo y Validación de Algoritmos de Control para Turbinas de Gas*. Memorias XIV. Reunión de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial, RVP-AI/2001. Acapulco, México.
- Chávez, R. y Delgadillo, M.A. (1990). *Modernization of a computer control system in a combined cycle power plant*. Proceedings ISA 90. Nueva Orleans, E.E.U.U. Vol. 4, págs. 165-170.
- Chávez, R. y Díaz, R. (1993). *Upgrading of a computer control system in a combined cycle power plant*. Proceedings Power-Gen Americas '93. Dallas, E.E.U.U. Vol. 12-13, págs. 56-62.
- Chávez, R. y Gómez, O. (1995). *Sistemas de control distribuido en plantas de ciclo combinado*. Boletín IIE. Vol. 19, No. 2, págs. 47-51.
- Comisión Federal de Electricidad. (1990). *Manual de Operación de la Turbina de Gas*. Manual interno. Gómez Palacio, México.
- De Lara, S. y Martínez, M.A. (1999). *Desarrollo del sistema para la sintonización de controladores difusos usando redes neuronales artificiales*. IIE reporte interno. No. 11500INDT (A5)01.03. Cuernavaca, México.
- Delgadillo, M.A. y Hernández, M.A. (2002). *Modeling and Dynamic Simulation of a Gas*. Proceedings ISA 2002. San Francisco, E.E.U.U. Vol. 2, págs. 126-132.
- García, C.D. (1997). *Control Digital de Unidades Turbogás*. Tesis de Maestría. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuernavaca, México.
- García, C.D. y Garduño R. (1997). *Gas turbine fuzzy speed control*. Proceedings 2nd Joint Mexico-USA International Conference on Neural Networks and Neurocontrol. Sianka'an, México.
- Garduño, R. y Sánchez, M. (1995). *Control system modernization: turbogás unit case study*. Symposium on Control of Power Plants and Power Systems. Cancún, México. Vol. 2, págs. 245-250.
- Giacomini, L. Bordbar, B. y Holding, D.J. (2000). *Hybrid sliding mode control for a set of interconnected nonlinear*. Proceedings 39th IEEE Conference on Decision and Control. Sydney Australia. Vol. 3, págs. 2180-2185.
- Glover, F. (1986). *Future paths for integer programming and links to artificial intelligence*, *Computers and Operations Research*. Vol.5, págs. 533-549.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization machine learning*. Adison-Wesley, Publishing Co. Reading. E.E.U.U.
- Guo, L. (1994). *Further results on least squares based adaptive minimum variance control*. SIAM Journal on Control and Optimization, Society for Industrial and Applied Mathematics. Kansas, E.E.U.U. Vol. 32, No. 1, págs. 187-212.
- Halgamuge y Glesner, M. (1993). *The fuzzy neural controller FuNe II with a new adaptive defuzzification strategy based on CBAD distributions*. In European Congress on Fuzzy and Intelligent Technolodcies'93. Aachen, Alemania. Vol. 2, págs. 852-867.

- Jang, R. y Shing, J. (1993). *ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System*. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. Vol. 23, No. 3, págs. 665-685.
- Jang R. (2000). *Fuzzy Logic Toolbox*. Ed. Natick,MS, Mathworks. E.E.U.U.
- Kennedy, J. y Eberhart, R.C. (1995). *Particle swarm optimization*. Proceeding IEEE International Conference on Neuronal Networks. Perth, Australia. Vol. 4, págs. 1942-1948.
- Lee, J. F. (1992). *Theory and design of Steam and Gas Turbines*. Mc- Graw-Hill Inc. New York, E.E.U.U.
- Naucke, D. y Klawonn, F. (1997). *Foundations of Neurofuzzy Systems*. John Wiley & Sons Inc. París, Francia.
- Nürnbergger, A. Nauck, D. y Kruse, R. (1999). *Neuro-fuzzy control based on the NEFCON model recent developments*. Soft Computing 2. Vol.4, págs. 168-182.
- Pat, M. y de Lara, S. (1999). *Sintonización con redes neuronales de un controlador PID*. Aplicación a una unidad tubogás. Información Tecnológica. Vol. 10, No. 6, págs. 25-32.
- Ramírez, G.M. (1996). *Modernización del Control de Velocidad, Potencia y Temperatura de una Unidad Turbogás*. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. D.F, México.
- Rugh, W. J. (1991). *Analytical framework for gain scheduling*. IEEE Control Systems Magazine. Vol. 11, No. 1, págs. 79-84.
- Sánchez, M. y Bahamaca L. (1999). *Realización de controladores lógicos difusos para el control de procesos en tiempo real: especificación y diseño*. Memorias 2o. Encuentro Nacional de Computación. Pachuca, México.
- Sánchez, M. y Bahamaca L. (2000). *Speed and load fuzzy control for gas turbines*. Proceedings 1 st. ISA POWID/EPRI/DOE Joint Controls and Instrumentation Conference. Snt. Antonio U.S.A. Vol. 1, págs. 2180-2185.
- Sánchez Reinoso, M. A. (2019). *Comparación del rendimiento entre los reguladores P+ I incremental, Fuzzy Mamdani Incremental y control de modelo interno para el mando de una planta Quanser*. (Master's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Sugeno, M. (1985). *An introduction survey of fuzzy control*. Inform. Sci., Vol. 36, No. 1, págs. 59-83.
- Takagi H. and Hayashi I. (1991), *NN-driven fuzzy reasoning*. Int. J. Approximate Reasoning Vol.5, No.3, págs.191-212.
- Trejo, C.G. (2000). *Sistema de Control Digital de una Unidad Turbogás Modelo GE- 5001*. Tesis de Licenciatura. Universidad del Sol. Cuernavaca, México.
- Yarizhkin, V. (1979) *Centrales Termoeléctricas*. Tomo 1 y 2 Ed. Nir Moscú. Moscú, Rusia.
- Wang, L.X. (1997). *A course in fuzzy systems and control*. Ed.Prentice Hall. E.E.U.U.

Capítulo 5 Familias normales, Teorema Grande de Picard y algunas de sus consecuencias para funciones analíticas

Chapter 5 Normal families, Picard Great Theorem and some of their consequences for analytic functions

DOMÍNGUEZ-SOTO, Patricia †* & CANO-CORDERO, Laura

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad Ciencias Físico-Matemáticas. Avenida San Claudio y 18 Sur, C.U., Puebla Pue, 72570, México

ID 1^{er} Autor: *Patricia, Domínguez-Soto* / **ORC ID:** 000-0003-1297-9300, **CVU CONACYT ID:** 16010

ID 1^{er} Coautor: *Laura, Cano-Cordero* / **ORC ID:** 0000-0002-2849-7616, **CVU CONACYT ID:** 218811

DOI: 10.35429/H.2019.2.69.77

P. Domínguez & L. Cano

pdsoto@cfm.buap.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Diaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

El presente trabajo expositivo busca familiarizar al lector con la teoría, bien conocida, sobre la convergencia de familias de funciones analíticas, el estudio de las familias normales, teoría que aparece en la mayoría de los textos clásicos de Análisis Complejo. El objetivo de este compendio es presentar un capítulo con conocimientos básicos en Topología y Análisis Complejo, como herramientas, para explorar algunos resultados importantes relacionados con la teoría de Montel y el Teorema Grande de Picard. El trabajo contiene algunas consecuencias de los teoremas antes mencionados y varios ejemplos de sus aplicaciones, los cuales contribuyen a fortalecer en los lectores los antecedentes para el estudio de la Dinámica Holomorfa.

Teorema de Picard, Teoría de Montel, Funciones Analíticas

Abstract

The present expository work sought to familiarize the reader with a well-known theory of the convergence of families of analytic functions, the study of normal families, theory that appears in most of the classical texts in Complex Analysis. The objective of this compendium is to present a chapter with basic knowledge on Topology and Complex Analysis, as tools, in order to explore some important results related to Montel's Theory and Picard's Great Theorem. The work contains some of their consequences for analytic functions and several examples of their applications, which contributes to strengthen in the readers the background to study Holomorphic Dynamics.

Picard's Great Theorem, Montel's theory, Analytic Functions

1. Introduction

Given a transcendental entire function f in the complex plane it is possible to study the composition of f n - times i.e., $f^n = f \circ f^{n-1}$, where infinity for these functions is the only essential singularity. The notion of normal families forms a central feature of iteration theory of transcendental entire functions, because it helps to compare the orbits $f^n(z)$ of a given function f , under the iteration of f for different points z in the complex plane. In this expository document the reader will be able to identify the important results needed before going into the study of the iteration theory of transcendental entire functions. We deal with normal families and some interesting examples of it, also we give some results such as the Fundamental Normality Test which is essential to prove the Picard Great Theorem for analytic functions in a punctured disc around an essential singularity. We compare the Picard Great Theorem with Casorati-Weierstrass Property to see their differences. Also, we solve some problems to see how the results mentioned before are used in holomorphic dynamics.

In Section 2 we state the Selection Theorem, the Vitali's Theorem and the Hurwitz' Theorem. Also, we introduce the concept of normal family for analytic functions and some examples of it. The main theorem in Section 2 is The Fundamental Normality Test. In Section 3 we state the Picard's Great Theorem and some consequences for analytic functions. Also, the Casorati-Weierstrass Property is given. Finally, in Section 4 we mention some examples of these two theorems to the theory of holomorphic dynamics.

2. Normal Families

In 1907 Paul Montel (1876-1975), a French Mathematician, received his doctorate in Paris which was related to infinite sequences of both real and complex functions, A few years later Montel worked in complex function theory and introduced the theory of normal families, see [6] and [7]. Later his theory was extended to other kind of analytic functions.

Normal families may be understood from different points of view, for instance hyperbolic geometry, Kleinian groups, functional analysis and holomorphic dynamics among others.

We start by stating some well-known definitions from complex analysis which will be useful to define the concept of normal family. We refer to the reader to [1], [4], [5], [8].

- I. A sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ of functions in a domain $G \subset \mathbb{C}$ converges uniformly to a function f if for all $\epsilon > 0$, there exists N such that if $n > N$, then $|f_n(z) - f(z)| < \epsilon$.
- II. A sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ of functions in a domain $G \subset \mathbb{C}$ converges locally uniformly to a function f if it converges uniformly in each compact subset $K \subset G$.
- III. A set F of functions is locally uniformly bounded in a domain G if for each compact subset $K \subset G$, there is a constant $M(K) < \infty$ such that for all $f \in F$ and for all $z \in K$, $|f(z)| \leq M(K)$, this is, F is uniformly bounded on K .

The following three theorems will be useful to determinate whether a family of functions is either normal or not. We state them without a proof, but they can be revised in [1]. We recall that an holomorphic function is an analytic function.

- **Theorem 2.1. (Selection Theorem)** Let F be a set of functions which are all analytic in a domain G . If F is locally uniformly bounded in G , then there exists a sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset F$ which is locally uniformly convergent in G .

Observe that the limit is analytic in G . The theorem also holds for uniformly bounded F where the uniform convergence is local.

- **Theorem 2.2. (Vitali)** Let F be a set of analytic functions which is locally uniformly bounded in a domain G . If $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset F$ and $\{h_p\}_{p \in \mathbb{N}} \subset G$ and such that $\lim_{n \rightarrow \infty} h_p$ exists and is equal to α with $\alpha \in G$, and if for every fixed p it is satisfied that $\lim_{n \rightarrow \infty} f(h_p)$ exists, then the whole sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ is locally uniformly convergent in G .
- **Theorem 2.3. (Hurwitz's Theorem)** If a sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ of analytic functions converges locally uniformly to f in a domain G , and if for all $z \in G$ and $f_n(z)$ is not zero, then either f is never 0 or $f = 0$ for all z in G .

The theorems above tell us about the properties that a limit function possess when it is considered on the functional space \mathfrak{S} the uniform convergence. Now, we proceed to define the concept of normal family, which determinate the characteristics of the compact sets in \mathfrak{S} .

Normal Family. A family of analytic functions F on a domain $G \subset \mathbb{C}$ is normal in G if every sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset F$ contains either (a) a subsequence converging uniformly to an analytic function $f \neq \infty$ on every compact subset $K \subset G$, or (b) a sequence converging uniformly to ∞ on every compact subset $K \subset G$.

The case (b) can also be expressed as follows: for all $M > 0$, there exists N such that for all $n > M$, $|f(z)| > M$, for all $z \in K$. An important result related to normal families is given as follows.

- **Theorem 2.4.** A family F of analytic functions is normal in a domain G if and only if F is normal at every point $z_0 \in G$ (this is in some neighborhood of z_0).

Proof. The necessary condition is clear, so we will prove only the sufficiency condition. Choose a countable dense subset $\{z_n\}$ of G where $z_n = x_n + iy_n$ and $x_n, y_n \in \mathbb{Q}$.

Let $D(z_n, r_n)$ be the largest disc about z_n in which F is normal. Also let K_n be an exhaustion of G by the compact sets $K_n = \{x \in G: |z| \leq n \text{ and } d(z, \partial G) \geq 1/n\}$. As z_n is dense in G it is covered by all $D(z_n, r_n/2)$, where F is normal in the disc $D(z_n, r_n/2)$. So if we pick a finite sub-cover of each K_n we obtain a countable cover $\cup_{n=1}^{\infty} D(z_n, r_n/2)$ of G .

For any sequence, one can extract a convergent subsequence $\{f_{n_k}\}$ which converges uniformly in the disc converges uniformly in the $D(z_n, r_n/2)$ either to an analytic function f or to ∞ . The sequence has in a subsequence $\{f_{n_k}^{(1)}\}$ which converges uniformly in both $D(z_1, r_1/2)$ and $D(z_2, r_2/2)$.

Inductively, we get the diagonal sequence $\{f_{n_k}^{(k)}\}$ which converges uniformly in $D(z_n, r_n/2)$ either to an analytic function or to ∞ .

The distinction between ∞ and analytic functions splits the points $z \in G$, into two disjoint classes, say G_f and G_∞ both are open and together form G , i.e., $G = G_f \cup G_\infty$. As G is a domain it is connected, so either $G_f = G$ or $G_\infty = G$.

Now, if K is a compact subset of G , then we can find a finite open cover, say $\bigcup_{n=1}^j D(z_n, r_n/2)$ of K , where there is a subsequence converging either to an analytic function or to ∞ . ■

From Theorem 2.1, we get that if a set F of analytic functions in a domain G is locally uniformly bounded in G , then F is a normal family. The following example illustrates it.

Example 1. If $F = \{f: f \text{ analytic in a domain } G\}$ is locally uniformly bounded in G , then so is $F' = \{f': f \in F\}$ where f' denotes the derivative function of f .

Solution. By using Cauchy's formula for derivatives of an analytic function we have:

$$f^{(n)}(z) = \frac{n!}{2\pi i} \int_C \frac{f(w)}{(w-z)^{n+1}}, \quad (1)$$

Where C is a closed curve.

Where

$$|f^{(1)}(z)| = \left| \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{f(w)}{(w-z)^2} \right| \leq \frac{1}{2\pi} \int_C \left| \frac{f(w)}{(w-z)^2} \right| |dw|. \quad (2)$$

Since f is locally uniformly bounded, we have that for all compact $K = D(\alpha, R) \subset G$, there exists an $M(K) < \infty$ such that for all $f \in F$ and for all $z \in K$, $|f(z)| \leq M(K)$. So for all $z \in D(\alpha, R/2)$ and for $f \in F$ we have:

$$|f^{(1)}(z)| \leq \frac{1}{2\pi} \int_C \left| \frac{f(w)}{(w-z)^2} \right| |dw| \leq \frac{1}{2\pi} \frac{4M(K)}{R^2} 2\pi R = \frac{4M(K)}{R}. \quad (3)$$

Hence F' is also locally uniformly bounded, therefore a normal family. ■

Observation. Ahlfors in [1] mentioned that it not true that the derivatives of a normal family form a normal family. Consider the family of functions $f_n(z) = n(z^2 - n)$ in the whole plane. This family is normal, for it is clear that $f_n(z) \rightarrow \infty$ uniformly on every compact set. Nevertheless, the derivatives $f_n^{(1)}(z) = 2nz$ do not form a normal family, since they satisfy that $f_n^{(1)}(z) \rightarrow \infty$ if $z \neq 0$ and $f_n^{(1)}(z) \rightarrow 0$ for $z = 0$.

In what follows we consider an example which shows that normality can depend on the chosen domain.

Example 2. Let $F = \{f_n(z) = nz, n \in \mathbb{N}\}$. For any sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}}$, $f_n(0) \rightarrow 0$ and if $z \neq 0$, $f_n(z) \rightarrow \infty$. So if we choose our domain G to be an open disc containing the origin, i.e., $D(0,1)$, then F is not normal in this domain. But, if we consider the domain $G = \{z \in \mathbb{C} : |z| > 1\}$, then every sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ contains a subsequence converging uniformly to ∞ on every compact subset of G . ■

The following example shows that a family of analytic functions is normal if it omits an open subset of \mathbb{C} .

Example 3. If $\mathcal{F} = \{f: f \text{ is analytic in a domain } G \subset \mathbb{C} \text{ such that } |f(z) - a| > m > 0, \text{ for some fixed } a \in \mathbb{C}\}$, show that \mathcal{F} is normal in G .

Solution. We know that the family

$$H = \left\{ h: h(z) = \frac{1}{f(z)-a} \text{ with } f \in F \right\} \quad (4)$$

Is normal in G , since $|h(z)| < \frac{1}{m}$, for $z \in G$.

We must show that \mathfrak{F} is normal in G . Consider the sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset \mathfrak{F}$ and its corresponding sequence $\{h_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset H$ which has a subsequence $\{h_{n_k}\}$. This subsequence $\{h_{n_k}\}$ has a corresponding $\{f_{n_k}\}$ (we do not know anything about it yet). By using Hurwitz's Theorem, we have that $z \in G$ and so either (i) $h(z)$ is not identically zero in G or (ii) $h(z) = 0$ in G .

Case (i). $h(z)$ is not zero in G . Since $f(z) = a + \frac{1}{h(z)}$ we get that:

$$f(z) - f_{n_k}(z) = \frac{1}{h(z)} - \frac{1}{h_{n_k}(z)} = \frac{h_{n_k}(z) - h(z)}{h(z)h_{n_k}(z)}. \quad (5)$$

Let $K \subset G$ be compact. As $h_{n_k} \rightarrow h$ there exists for all $\epsilon > 0$ some natural number N so that for all $n_k > N$ and $z \in K$, $|h_{n_k}(z) - h(z)| < \epsilon$ and thus we obtain that

$$|f(z) - f_{n_k}(z)| = \frac{\epsilon}{\alpha(\alpha - \epsilon)}, \quad (6)$$

For $n_k > N$ and $z \in K$. Thus, for z in G $h(z) \neq 0$, so we get that \mathfrak{F} is normal in G .

Case (ii). Consider $h(z) = 0$ in G , then $|h_{n_k}| < \epsilon$ for sufficiently large n_k (depends of ϵ) and $z \in K$, where K is a compact subset of G . Hence, for ϵ small enough. Thus $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset \mathfrak{F}$ converges uniformly to ∞ on K , thus we have that \mathfrak{F} is normal in G . ■

The following result gives a sharper result than Example 3, in the literature it is known as the Montel's three omitted values theorem.

- **Theorem 2.5. (Fundamental Normality Test)** *Let \mathfrak{F} be a family of analytic functions on a domain $G \subset \mathbb{C}$ which omits two fixed values a and b in \mathbb{C} . Then \mathfrak{F} is normal in G .*

Proof. Assume without loss of generality that $a = 0$ and $b = 1$. Fix some $z_0 \in G$ and pick $\rho > 0$ so that $D(z_0, \rho) \subset G$. By considering the rescaled function $g(z) = f(z_0 + \rho z)$ in $D(0,1)$ we obtain by using the sharp form of Schottky, see [8], so we obtain that

$$|f(z)| \leq |\alpha| \leq R = 1. \quad (7)$$

So, there exists a bound $M(1, 1/2) > 0$ such that $|f(z)| \geq \left| M\left(1, \frac{1}{2}\right) \right|$ for all $z \in \bar{D}\left(z_0, \frac{\rho}{2}\right)$. On the other hand, if $|f(z_0)| > 1$, then $\left| \frac{1}{f(z)} \right| \leq \frac{1}{M\left(\frac{1}{2}\right)}$ for all $z \in \bar{D}\left(z_0, \frac{\rho}{2}\right)$ since $\frac{1}{f(z)}$ omits 0 and 1. Thus, \mathfrak{F} can be written as follows:

$$\mathfrak{F} = F_1 \cup F_2 = \{f \in \mathfrak{F}: |f(z_0)| \leq 1\} \cup \{f \in \mathfrak{F}: |f(z_0)| > 1\}, \quad (8)$$

Where F_1 is normal in $\bar{D}\left(z_0, \frac{\rho}{2}\right)$ by the Selection Theorem and the definition of normal family F_2 is normal by the same argument. Now, for any sequence $\{f_n\}_{n \in \mathbb{N}} \subset \mathfrak{F}$ we can choose a subsequence from either F_1 or F_2 such subsequence has in turn a locally uniformly convergent sequence, thus \mathfrak{F} is normal in $D\left(z_0, \frac{\rho}{2}\right)$.

Since this hold for any $z_0 \in G$, then \mathfrak{F} is normal in G by Theorem 2.4. ■

Theorem 2.5 in connection with Example 3 gives the following corollary.

- **Corollary 2.6.** A family of analytic functions on some domain $G \subset \mathbb{C}$ which is not normal omits at most one finite point.

3. Picard's Great Theorem and Some Consequences for Analytic Functions

In this section we proceed to give some definitions of singularities of analytic functions and then we state the Picard's Great Theorem.

If f is not analytic in any disc $D(a, r)$, where $r > 0$, we say that a is an *isolated singularity* of f , also a is called a *singular point*. For functions we study the characteristics of a function on a neighborhood of a singular point by using Laurent's series.

Briefly speaking a Laurent's series is a double series of the form $\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n(z - z_0)^n$ where

$$c_{-n} = \frac{1}{2\pi i} \int \frac{f(z)}{(z-z_0)^{-n+1}}; \quad (9)$$

And

$$c_n = \frac{1}{2\pi i} \int \frac{f(z)}{(z-z_0)^{-n+1}}. \quad (10)$$

Using Laurent's series, we can classify a singular point a in terms of the quantity of the coefficients c_{-n} , which can be an arduous labor for some functions. Thus, the following statements simplifies the situation:

1. If f is bounded in some neighbourhood $D(a, r)$ of a . In this case a is called a *removable singularity*.
2. If $f(z) \rightarrow \infty$ as $z \rightarrow \infty$, a is called a *pole*.
3. If f is unbounded and does not converge to ∞ for $z \rightarrow \infty$. In this case a is called an *essential singularity*.

Now, let f be analytic in the punctured disc $D(0, R)$ with the Laurent's expansion. Let w be an analytic function in the complex plane or the Riemann sphere. We say that w is an *omitted value* of f , if for every z we have $f(z) - w = 0$ has no solutions and w is a Picard exceptional value of f , if $f(z) - w = 0$ has finite solutions.

Observe that if w is an omitted value of f , then w is a Picard exceptional value of f .

Example 4. (i) The exponential map e^z has two omitted values, zero and ∞ which are also Picard exceptional values.

(ii) The map e^z/z has zero as an omitted value, so it is a Picard exceptional value, while ∞ is as a Picard exceptional value but it is not an omitted value. ■

From the above example in mind we can state the following result.

- **Theorem 3.1. (Picard Great Theorem)** Let f be analytic in the punctured disc $D(z_0, R)$ where z_0 is an essential singularity of f . Then f attains every finite complex value, infinitely often in $D(z_0, R)$, with at most one possible exception.

Proof. Assume that $D = \{0 < |z| < R\}$ and suppose that there are two values a and b which are omitted by f in D . The family of functions \mathfrak{F} defined by $f_n(z) = f\left(\frac{z}{2^n}\right)$, $n \in \mathbb{N}$ are analytic in the annulus $A = \left\{\frac{R}{2} < |z| < R\right\}$ and do not assume the values a or b in A . Since \mathfrak{F} is normal in A , there is a subsequence $\{f_{n_k}\}$ converging uniformly to \hat{f} on the compact set $\left\{|z| = \rho: \frac{R}{2} < \rho < R\right\}$, where \hat{f} is either an analytic function or equal to ∞ in A .

If \hat{f} is analytic, then its boundedness on $|z| = \rho$ which implies that $\{f_{n_k}\}$ is uniformly bounded on $|z| = \rho$, say $|f_{n_k}(z)| \leq M$, $|z| = \rho$, where $k \in \mathbb{N}$.

Then,

$$|f_{n_k}(z)| \leq M, |z| = \frac{\rho}{2^n}, \text{ where } k \in \mathbb{N}. \quad (11)$$

That is, f is bounded on a sequence of concentric circles converging to the origin. By the Maximum Modulus Theorem, $|f(z)| \leq M$ in the region between any two circles. Therefore,

$$|f_{n_k}(z)| \leq M, 0 < |z| \leq \frac{\rho}{2^n}, \quad (12)$$

Which contradicts the fact that f must be unbounded in any neighbourhood of an essential singularity.

If $\hat{f} = \infty$ in A , again we obtain a contradiction, see [7] for a proof. Finally, if there are two values, say α, β which are attained only finitely often by f , then in some sufficiently small deleted neighbourhood of the origin f would omit α, β and the result follows. ■

We recall that transcendental entire functions are analytic in \mathbb{C} and ∞ is an essential singularity. Some examples are the exponential and the sine functions. From Picard Great Theorem it can be deduced the following result by putting $z_0 = \infty$.

- **Corollary 3.2.** A transcendental entire function attains every finite complex value infinitely often, with at most one possible exception.

An application of the theorem above is the following example.

Example 5. Do there exist any non-constant entire functions f and g such that

$$e^{f(z)} + e^{g(z)} = 1 \text{ for all } z \in \mathbb{C}? \quad (13)$$

Solution. The answer is negative.

Indeed, we know that $e^{f(z)} f = 0 \neq e^{g(z)}$ for any $f(z)$ or $g(z)$. So by Corollary 3.2 we have that $e^{f(z)}$ must attain all other values in \mathbb{C} , for instance if $e^{f(z)} + e^{g(z)} = 1$ is fulfilled by some f and g , then $e^{f(z)} = 1 - e^{g(z)}$. But since $e^{g(z)} = 0$ for $z \in \mathbb{C}$, we obtain a contradiction. ■

As we can see the example above is an immediate application of the Picard's Great Theorem, moreover, we also in the same way can prove the following facts:

1. If a meromorphic function on \mathbb{C} misses three values, then it is constant.
2. If f is entire and one-to-one, then it is linear.
3. If f, g are entire functions and $g' = (g)$, then f is linear or g is constant.
4. If X is a Riemann sphere with n punctures, then for $n \geq 3$ the universal covering space \tilde{X} of X is the upper-half plane.

Based on the facts above and the definition of essential singularity it led us to wonder about the characteristics that such functions possess. Casorati-Weierstrass proved independently the following property which established a fascinating behaviour of the essential singularity, see proof in [8].

- **Theorem 3.3. (Casorati-Weierstrass Property)** Let f be analytic in the punctured disc $D(a, R)$, where a is an essential singularity of f . Then for all $w \in \mathbb{C}$, and any constants $s > 0, R > 0$, we have $|f(z) - w| < s$ for some $z \in D(a, R)$.

Observation: The Great Picard Theorem is a substantial strengthening of the Casorati-Weierstrass Property which describes the behaviour of a holomorphic functions near their essential singularities.

Example 6. Observe that in the above theorem it is not claimed that f attains the value $w \in \mathbb{C}$, that is, $f(z) = w$ has at most one solution, i.e., f is univalent. Show that $f(z) = az + b$, with a, b constants.

Solution. Assume that $f \neq c$ for some $c \in \mathbb{C}$.

Then by the Open Mapping Theorem, the image of an open disc $D(0,1)$ is open under f (as f is analytic there). So certainly, $D(f(0), \rho) \subset f(D(0,1))$ for some $\rho > 0$. Then for all z not in the disc $D(0,1)$ the function f never lie in the disc $D(f(0), \rho)$. Thus, in the neighbourhood $1 > |z| > \infty$ of ∞ , we have $|f(z) - f(0)| \geq \rho$. Thus, by the converse of Theorem 3.3, ∞ is not an essential singularity of f . Our definitions on singularities hence tells us that the Laurent's expansion of f must be of the form $\sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n$ since f is entire. Thus, we have a polynomial, and since it is univalent, it must be of degree one. Therefore, $f(z) = az + b$ with a, b constants. ■

4. Applications in Holomorphic Dynamics

Montel's theory of normal families is quite important in the iteration of analytic functions. Between 1918 and 1920, two French mathematicians, Pierre Fatou (1878-1929) and Gaston Julia (1893-1978) obtained several results related to the iteration of rational functions of a single complex variable. Each of them based his approach on Montel's theory of normal families. The main objects of the theory are the maximal domains of normality and its complement. In this section we will give some basic facts in iteration theory using some results of the previous sections.

Given a transcendental entire function f , it is possible to study the sequence formed by its iterates denoted by $f^n := f \circ f^{n-1}$, $f^0 = Id$ and $n \in \mathbb{N}$, this is, the composition of f with itself n -times. For this class of functions infinity is the only essential singularity.

The following example shows how the results in Section 3 can be applied to iteration theory.

Example 7. If f and g are transcendental entire functions, then $f \circ g = f(g)$ is a transcendental entire function.

Solution. Take $w = g(z)$ and look at $f(w) = f(g(z)) = v$, where v is not a Picard value of f . Then by Theorem 3.1, there exists infinitely many solutions $w_1, w_2, \dots, w_n, \dots$ for this equation. Therefore, the equations $g(z) = w_1, g(z) = w_2, \dots, g(z) = w_n, \dots$ have infinitely many solutions, except for maybe one $g(z) = w_i$. But still, this yields only have finitely many solutions and the composition of two transcendental entire functions is also a transcendental entire, we have shown that $f \circ g$ is transcendental entire.

We can use Example 7 n -times to show that if f is a transcendental entire function, then f^n is also a transcendental entire function. ■

Given f a transcendental entire function we define orbits which are related to the iteration of an analytic function f .

The *forward orbit* of a point z is $O^+(z) = \{w: f^n(z) = w, \text{ for } n \in \mathbb{N}\}$.

The *backward orbit* of a point z is $O^-(z) = \{w: f^n(w) = z, \text{ for some } n \in \mathbb{N}\}$.

The *grand orbit* of a point z is $O(z) = O^+(z) \cup O^-(z)$.

Also, we define $E(f)$ as the set of Fatou exceptional values of f , this is, points whose inverse orbit $O^-(z)$ is finite.

Example 8. The map $f(z) = e^z$ has Fatou exceptional values zero and ∞ (both are also omitted values, see Example 4).

If we add a pole in the function above the behaviour changes.

Example 9. The map $h(z) = -e^z + 1/z$, has no omitted values, the Picard exceptional value is ∞ , but it is not a Fatou exceptional value since $f^{-n}(\infty)$. Thus $E(h) = \emptyset$.

With the definition of normal family, see Section 2, it is possible to investigate two sets in the complex plane giving a transcendental entire function f : The Stable set (Fatou set) $\mathfrak{F}(f)$ which is defined as the set of all points $z \in \mathbb{C}$ such that the sequence of iterates $\{f^n\}_{n \in \mathbb{N}}$ forms a normal family in some neighbourhood of z . The Chaotic set (Julia set), denoted by $\mathfrak{J}(f)$ is the complement of the Fatou set.

To prove some important properties of the two sets mentioned above, it is necessary the concept of normal family and some results of Complex Analysis which drives us to the subject of holomorphic dynamics. We recommend the reader to revised [2] and [3] for starting the subject in holomorphic dynamics for rational and transcendental entire functions.

5. Research Method

This paper presents two main results used in the iteration of holomorphic functions, based on classical textbooks used in basic courses of Complex Analysis, which open a window to the readers to enter in this magnificent and depth area of Complex Dynamics.

6. Results

Montel's criterion and Picard's Great Theorem are depth results of Complex Analysis which are equivalent. This equivalence is a bridge between compactness in the space of holomorphic functions and the behavior of a holomorphic function around an essential singularity. Moreover, the results stated in this chapter can be used as model in different areas such as Kleinian groups and iteration of holomorphic functions. In this document we try to explain some important concepts in a simplified and easier way to start the study the area of Holomorphic Dynamics.

7. References

- [1] Ahlfors, L. V. (1973). Complex Analysis (1953) McGraw-Hill.
- [2] Carleson L. and Gamelin T.W. (1993). Complex Dynamics. Springer Verlag New York Inc.
- [3] Hua, X. H. (1998). Dynamics of Transcendental Functions. Asian Mathematical Series, Gordon and Breach Science Publishers.
- [4] Marshall, D. E. (2019). Complex Analysis. Cambridge University Press.
- [5] Lang, S. (2013). Complex Analysis (Vol. 103). Springer Science & Business Media.
- [6] Montel, P. (1916). Sur les familles normales de fonctions analytiques. In Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure (Vol. 33, pp. 223-302).
- [7] Montel, P. (1922). Sur les familles quasi normales de fonctions holomorphes (Vol 6).
- [8] Schiff, J. L. (2013). Normal Families. Springer Science & Business Media.

Capítulo 6 Propuesta actual de la Industria 4.0 en el clúster automotriz del Estado de San Luis Potosí

Chapter 6 Current situation of the companies of the automotive cluster of the State of San Luis Potosí in Industry 4.0

FLORES-CEDILLO, María Lisseth*†, OROS-MÉNDEZ, Lya Adlih, SIERRA-GUERRERO, Adela Marisol y DEL ÁNGEL-LÓPEZ, Hulda Zulema

Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, División de Ingeniería Industrial, Carretera 57 México-Piedras Negras Km 189+100 No. 6501, Delegación Villa de Pozos, C.P. 78421, San Luis Potosí, S.L.P., México.

ID 1^{er} Autor: *María Lisseth, Flores-Cedillo* / **ORC ID:** 0000-0002-2693-6734, **Researcher ID Thomson:** E-6827-2018, **CVU CONACYT ID:** 426793

ID 1^{er} Coautor: *Lya Adlih, Oros-Méndez* / **ORC ID:** 0000-0003-2432-7713, **Researcher ID Thomson:** S-5792-2018, **CVU CONACYT ID:** 251355

ID 2^{do} Coautor: *Adela Marisol, Sierra-Guerrero* / **ORC ID:** 0000-0003-3433-5012, **Researcher ID Thomson:** S-5688-2018, **CVU CONACYT ID:** 604622

ID 3^{er} Coautor: *Hulda Zulema, Del Ángel-López* / **ORC ID:** 0000-0001-6153-0249, **Researcher ID Thomson:** S-5696-2018, **CVU CONACYT ID:** 664460

DOI: 10.35429/H.2019.2.78.87

M. Flores, L. Oros, A. Sierra y H. Del Ángel

maria.flores@tecsuperiorslp.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

El desarrollo futuro de la Industria 4.0 y su efecto en la industria automotriz requiere el involucramiento de todas las partes de la cadena de suministros para aumentar la confiabilidad y ofrecer beneficios masivos. En el Estado de San Luis Potosí México, desde el año 2015 se conformó un Clúster Automotriz que integra al sector empresarial, gubernamental y educativo; en este último radica la importancia de desarrollar a los proveedores del capital humano, por lo cual, se ha integrado a las Instituciones de Educación Superior (IES) para que se puedan generar las estrategias de formación en los estudiantes y egresados para cumplir eficazmente con las necesidades actuales de la industria regional, como lo son las tendencias tecnológicas la Industria 4.0 para lograr un crecimiento sostenible de las empresas automotrices. En este trabajo, se aborda la situación actual del Clúster Automotriz de S.L.P. que coordina el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación de (SICITI) perteneciente al Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (COPOCYT) con respecto al uso de las herramientas de Industria 4.0, pretendiendo definir con claridad las áreas de oportunidad y la propuesta de proyectos estratégicos que mejoren el uso de las tecnologías digitales actuales. Se emplearon herramientas estadísticas que permitieron cuantificar la participación de las instancias que participan actualmente en Clúster Automotriz en el Estado de S.L.P. para dar a conocer la necesidad de un mayor involucramiento tanto del Gobierno, de la Academia y la industria para definir las políticas públicas en materia del desarrollo y empleo de las tecnologías de la 4.0 y las que vengan a revolucionar el sector automotriz en un futuro.

Industria 4.0, Clúster automotriz, Sector automotriz, Instituciones de Educación Superior

Abstract

The future development of Industry 4.0 and its effect on the automotive industry requires the involvement of all parts of the supply chain to increase reliability and offer massive benefits. In the State of San Luis Potosí Mexico. since 2015 an Automotive Cluster has been formed that integrates the business, government and educational sectors; The latter is the importance of developing the suppliers of human capital, which is why it has been integrated into the Higher Education Institutions (IES) so that training strategies can be generated in students and graduates to effectively comply with the current needs of the regional industry, as are the technological trends Industry 4.0 to achieve a sustainable growth of automotive companies. In this work, the current situation of the Automotive Cluster of S.L.P. that coordinates the System of Science, Technology and Innovation (SICITI, by its initials in Spanish) belonging to the Potosino Council of Science, Technology and Innovation (COPOCYT, by its initials in Spanish) with respect to the use of the tools of Industry 4.0, trying to clearly define the areas of opportunity and the proposal of strategic projects that improve the use of current digital technologies. Statistical tools were used to quantify the participation of the entities that currently participate in the Automotive Cluster in the State of S.L.P. to make known the need for greater involvement of both the Government, the Academy and the industry to define public policies on the development and use of 4.0 technologies and those that come to revolutionize the automotive sector in the future.

Industry 4.0, Automotive cluster, Automotive sector, Institutions of Higher Education

1. Introducción

El concepto de la industria 4.0 nació de la iniciativa realizada por académicos, industriales y el gobierno alemán, con el objetivo de fortalecer la competitividad del sector manufacturero en el país a través de la convergencia entre producción industrial y tecnologías de la información y la comunicación (TICs). Utiliza tecnologías como Internet de las cosas (IoT) y servicios (IoS), sistemas cibernéticos (CPS), automatización industrial, conectividad e información continuas, ciberseguridad, robótica inteligente, PLM, tecnologías semánticas, Big Data industrial y visión computacional para mejorar la productividad de los sistemas industriales de fabricación (Posada et al., 2015).

A nivel global, la industria automotriz es un propulsor para el desarrollo de otros sectores de alto valor agregado. En México no es la excepción, la industria automotriz es considerada como un sector estratégico, su participación en las exportaciones la coloca como la más importante, superando incluso al sector petrolero («Programa Estratégico de la Industria Automotriz 2012-2020», 2012).

Se están llevando a cabo iniciativas para vincular las TIC en los sistemas industriales en países como Alemania (Industrie 4.0), Francia (*Nouvelle France Industrielle*), Estados Unidos (*Advanced Manufacturing Partnership*) y España (Industria Conectado 4.0). En América Latina, México está considerando la ruta para implementar esta tendencia en su industria (Baena, Guarín, Mora, Sauza, & Retat, 2017) y Brasil no es menospreciado; sin embargo, existe incertidumbre sobre el costo y el rendimiento de la inversión (*Industry 4.0: a new challenge for Brazilian industry*, 2016).

Para formar las habilidades que el ingeniero requiere ante esta nueva visión del sector industrial, las estrategias del aprendizaje-enseñanza se está repensando (Abele et al., 2015).

La industria 4.0 en la actualidad, representa el ingreso a una era digital que denota cambios en los procesos de producción, en las transacciones comerciales, la sociedad y el sistema educativo. En el estado de San Luis Potosí, se ha conformado un clúster automotriz que surgió de la necesidad de la convergencia entre el gobierno, instituciones de educación superior, centros de investigación, industria automotriz y sus proveedores.

1.1. Industria 4.0 en las organizaciones

El término Industria 4.0 fue presentado al gobierno alemán por un grupo de políticos, hombres de negocio y académicos en 2011 que incorporó Alemania como parte fundamental de su plan de Alta Tecnología para 2020 (Hermann, Pentek, & Otto, 2016).

En el sector empresarial, la Industria 4.0, busca tener procesos productivos inteligentes capaces de tomar decisiones autónomas en tiempo real digitalizando los datos de los procesos productivos de manera ágil y efectiva, lo que es mejor conocido como *BIG DATA*.

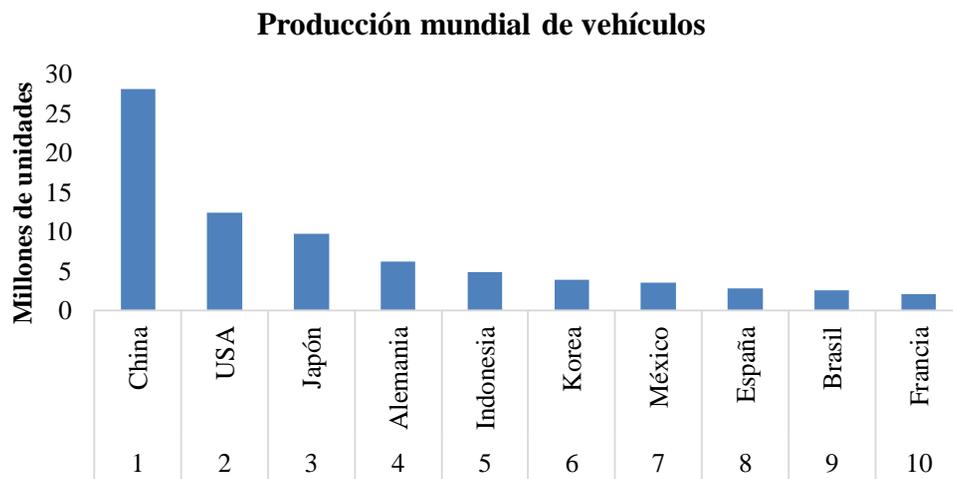
De acuerdo con Edmundo Gamas Buentello, director general del Instituto Mexicano de Desarrollo de Infraestructura (IMEXDI), los avances de la Industria 4.0 ó digitalización deben ser aprovechados por el país para convertir las ciudades en *smart cities*, y así mejorar la calidad de vida de sus habitantes, por lo que la automatización de los procesos debe ser una práctica estandarizada para todas las organizaciones, pues al automatizar los procesos centrales y repetitivos, se libera significativamente el tiempo de los empleados para realizar otras actividades que puedan generar valor (Notimex, 2018).

1.2. Industria 4.0 en la industria automotriz

Es sabido que el sector automotriz fue de los primeros en implementar la Industria 4.0 en sus procesos, debido a sus necesidades de automatización, estrictos estándares de calidad y a los altos volúmenes de información que maneja, ejecutando estas herramientas tanto en las áreas operativas como en tareas administrativas, entre otras. Por esta razón, la Industria 4.0 ha revolucionado la forma en la que trabajaban las empresas al unir todas sus áreas y compartir la información mediante el *BIG DATA* para el logro de objetivos conjuntos mejorando la productividad y reduciendo tiempos y costos. La Industria 4.0 es una tecnología al alcance de todas las empresas que tengan como prioridad la rentabilidad, la eficiencia de sus procesos y su competitividad, no solamente las grandes empresas (Pérez, 2018).

La posición de México dentro de los indicadores mundiales como productor de vehículos va en aumento como lo muestran las gráficas de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz 2017) menciona lo siguiente:

- 7° productor mundial de vehículos y 1° en América Latina, durante 2017.
- De cada 100 vehículos producidos en el mundo, 4.2 fueron ensamblados en México.
- México produjo 4.09 millones de vehículos automotores en 2017, lo que representó un incremento del 13 por ciento, respecto al año anterior (ver Figura 6.1).

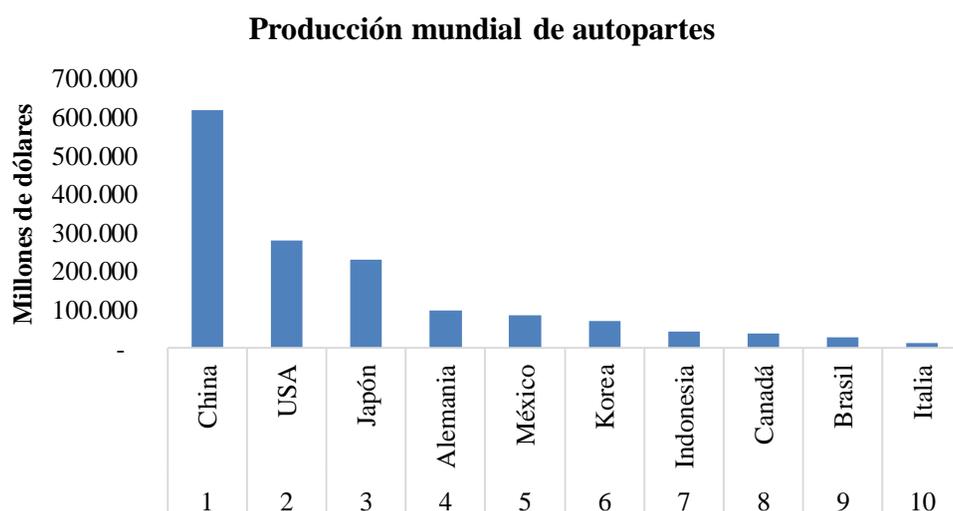
Figura 6.1 Posicionamiento de México en la producción mundial de vehículos

Fuente: OICA, AMIA con datos de sus asociados, ANPACT con datos de sus asociados. Elaboración propia

México se posiciona en el mundo como uno de los principales fabricantes de vehículos ligeros, al ser el séptimo mayor productor y el cuarto mayor exportador. El sector automotriz es estratégico para el País por su alta contribución al desarrollo económico y alta relevancia social, pues genera más de 800 mil empleos directos y además por la transversalidad que tiene con un importante número de actividades en la economía. De acuerdo a los resultados obtenidos por la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) de INEGI, México tiene los siguientes indicadores en lo que a producción de autopartes respecta:

- 5° productor a nivel mundial de autopartes y 1° en América Latina, durante 2017.
- Del top100 de fabricantes de autopartes en el mundo el 91 % se encuentran instaladas en México.
- México tuvo un valor récord de producción de 87,721 millones de dólares en autopartes en el 2017.

Hasta 2018, once de las principales empresas armadoras en el mundo han instalado sus operaciones en México, respaldadas por la industria de autopartes, la cual da soporte y contribuye a que estas compañías logren alcanzar sus volúmenes de producción («México se perfila como cuarto productor de autopartes», 2019).

Figura 6.2 Posicionamiento de México en la producción mundial de autopartes

Fuente: INA con información de EMIM de INEGI, Incluye Maquila, *US Bureau of Economic Analysis*, *Statistic Canada*.
Elaboración propia

La industria nacional junto con los centros de investigación, han desarrollado partes y componentes automotrices, los cuales han sido aceptados por las armadoras por los beneficios que estos llevan consigo. El impulso en esta área y la atracción de inversionistas para desarrollar la proveeduría especializada, es también oportunidad para el País.

México escaló en el 2018 de la sexta a la cuarta posición entre los mayores exportadores de autos del mundo en términos de valor, desplazando a Reino Unido y Canadá.

Mientras las exportaciones mexicanas presentaron una tasa de crecimiento interanual de 19 %, para llegar a 49,406 millones de dólares, las de Reino Unido se mantuvieron sin cambio (42,048 millones) y las de Canadá disminuyeron 12 % (41,008 millones) («México escala al cuarto sitio en exportación de autos | El Economista», 2019).

2. Metodología

Para contextualizar el objeto de estudio y contrastar los hallazgos, se realizó una revisión documental y analítica por medio de la recolección de información y la revisión sistémica de literatura. Se analizaron estadísticamente los resultados mediante las cohortes de la pertinencia de los programas académicos de las IES en temáticas de la Industria 4.0 con respecto a las necesidades de la industria automotriz de la región.

2.1. Clúster automotriz de San Luis Potosí

El Clúster Automotriz de San Luis Potosí inició sus actividades en septiembre de 2015 y se ha ido consolidando al sumar alrededor de 72 nuevos socios y aproximadamente 56 nuevas empresas grandes automotrices hasta el 2018, siendo parte de los clústeres automotrices que representan a 10 entidades en el país (Jalisco, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Puebla y Tlaxcala) que, hasta el mes de mayo de 2019, conforman la Red de Clústeres Automotrices de México. Aunque hay otros estados con presencia de la industria automotriz, como Aguascalientes y la región de La Laguna, los clústeres de esas entidades no forman parte de la red, debido a que no cumplen con algunos requisitos (Aranda, 2019).

En conjunto, los clústeres que integran la Red de Clústeres Automotrices de México representan más de 600 empresas de la industria automotriz, destacando el desarrollo de una plataforma tecnológica que permita establecer un vínculo entre los diferentes niveles de proveeduría en el sector, el desarrollo y capacitación de recursos humanos, así como la unificación de procesos y operaciones en la industria («S.L.P. se incorpora al Clúster automotriz regional», 2019).

El objetivo del proyecto del Clúster es desarrollar la industria automotriz como sector estratégico en el país, así como potenciar la proveeduría local a través de la búsqueda de apoyos para las empresas que puedan formar parte de la cadena de suministros del sector y sistematizando los procesos siguiendo las directrices de la Industria 4.0.

De igual manera que en el resto del país, San Luis Potosí mantiene su liderazgo, buscando desarrollar proveedores Tier 2 y Tier 3, para cubrir la demanda de productos y procesos en las actuales cadenas de suministro. Actualmente la entidad tiene alrededor de 230 compañías automotrices (Industria 4.0: Futuro en el sector automotriz e industrial 2017).

La forma en la que opera el Clúster Automotriz del Estado de San Luis Potosí, es mediante reuniones mensuales coordinadas por el SICITI e integradas por representantes de las empresas automotrices y de autopartes, por académicos de las principales IES del Estado y, por el sector gubernamental, el Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (COPOCYT), en las cuales se consensan y toman acuerdos para seguir potenciando a la industria automotriz de acuerdo a las problemáticas actuales, una de ellas, la necesidad de desarrollar talento humano que conozcan y manejen las tecnologías de la Industria 4.0, que es el tema que en este trabajo se aborda.

2.2. Industria 4.0 en las Instituciones de Educación Superior

Considerando la triple hélice (universidad-gobierno-empresa), además de involucrar a los representantes de las empresas del clúster automotriz, como ya se mencionó, es importante desarrollar y capacitar recursos humanos, por lo que resulta fundamental involucrar a los representantes de Instituciones de Educación Superior (IES), de los Centros de Investigación y autoridades del sector gubernamental mediante reuniones periódicas o *focus group* para adaptar la oferta educativa a atender las necesidades de un mercado global digitalizado, caracterizado por el procesamiento de grandes cantidades de información que se manejan a través del Big Data.

En las IES, ya se están introduciendo estas herramientas tecnológicas digitales para agilizar los procesos administrativos y educativos. Los cambios en cómo se realizan y perciben las tareas educativas con la Industria 4.0, requerirán que la educación superior ajuste rápidamente el currículo en el campus para que tanto docentes, como alumnos y autoridades educativas, tengan un mayor tiempo de respuesta a las necesidades tecnológicas actuales.

En las instituciones que forman parte del Tecnológico Nacional de México, la industria 4.0 está incluida dentro del Eje de Investigación e Innovación del modelo educativo, impulsando la investigación aplicada, científica y tecnológica para mejorar la competitividad y la innovación de los sectores productivos y de servicios para desarrollar proyectos de innovación y emprendimiento acordes con los retos de su entorno («Nuevo Modelo Educativo | TecNM», 2018).

Un proceso de transformación adecuado puede contribuir a facilitar el camino hacia nuevas tendencias de fabricación, tales como como industria 4.0 en un contexto académico que fortalece el proceso de capacitación en ingeniería (Baena et al., 2017).

2.3. Políticas públicas nacionales e internacionales de la Industria 4.0

Un ejemplo de las políticas públicas en el contexto de la Industria 4.0, se menciona en el trabajo de Navarro et. al e 2019 en el que analiza al Clúster Automotriz del estado de Guanajuato, presentando un análisis estadístico que le permite concluir que ese sector ha tenido un crecimiento extensivo desde 2013, el cual se caracteriza por un aumento de la producción y el empleo a costa de la productividad laboral, por lo que es imprescindible que se impulsen políticas públicas que permitan incrementar la productividad laboral (Navarro, Wong-González, & Martínez, 2019).

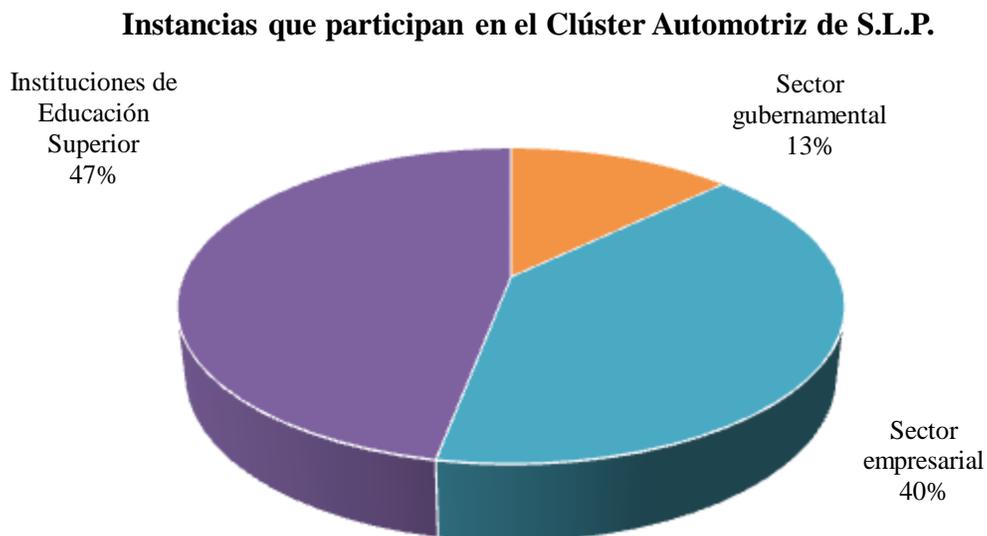
En lo que respecta a la relación comercial entre México y Estados Unidos de Norteamérica, la economía mexicana está profundamente integrada en cadenas de producción de industrias líderes de su vecino del Norte, como el sector automotriz (Bodemer, 2019), lo que considera que las actuales tecnologías deberían ir a la par, sin embargo, actualmente gran parte de estas tendencias, dependen de las barreras migratorias actuales entre ambos países, lo que trae en consecuencia el detrimento de este importante sector empresarial.

En la Unión Europea (UE), en la que se creó el programa Horizonte 2020, que describe el conjunto de acciones que pusieron en marcha a fin de fin de fomentar la investigación e innovación enfocadas en tres áreas prioritarias: ciencia excelente, liderazgo industrial y retos de la sociedad. Con el programa se busca promover el desarrollo de tecnologías pioneras que sustenten la innovación en todos los sectores industriales, el programa cuenta con 80 000 millones de euros a distribuirse durante siete años (2014-2020) («Horizonte2020», 2014).

3. Resultados

En la Figura 6.3 se muestran los porcentajes de instancias que forman parte del Clúster Automotriz en la actualidad. Puede notarse que existe una similitud en la proporción de participantes del sector empresarial y de las IES, siendo preponderante éste último. Sin embargo, el sector gubernamental tiene una participación menor, lo cual debería revertirse considerando que la mayoría de las iniciativas y proyectos surgidas de las necesidades del Clúster, requieren el conocimiento y apoyo de las diferentes entidades pertenecientes al Gobierno del Estado que fortalecen este sector preponderante en la región y cuyo reto para este año es ser fabricantes del 68 por ciento de la producción automotriz en el país (GlobalMedia, 2019).

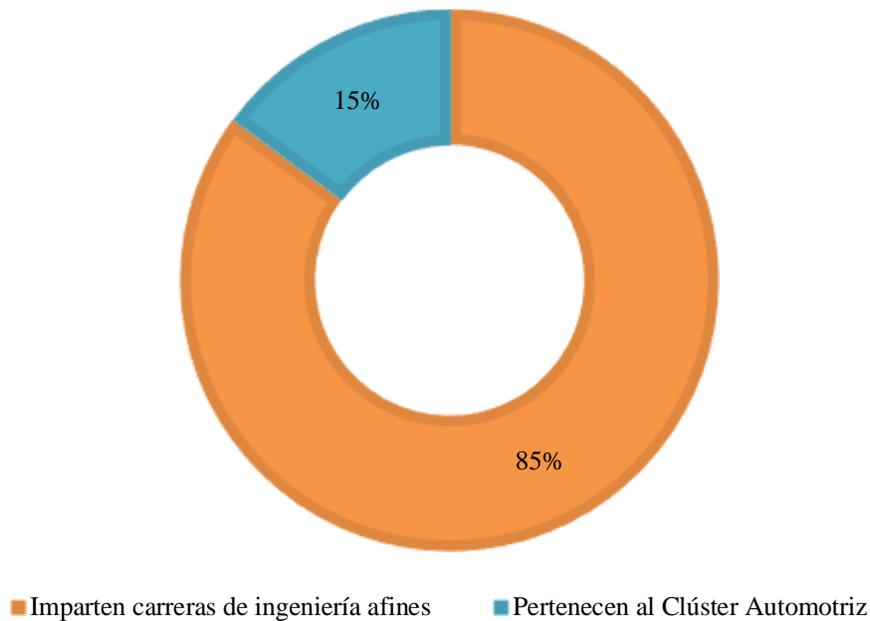
Figura 6.3 Instancias participantes dentro del Clúster Automotriz de S.L.P.



Fuente: Elaboración propia

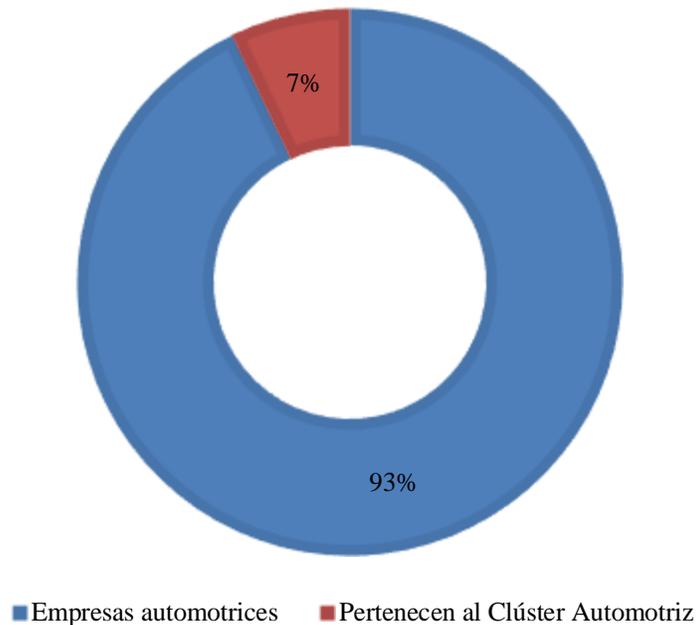
En el Estado de San Luis Potosí tiene, existen 70 instituciones públicas y privadas («En SLP existen más de 33 mil espacios en educación superior: SEGE», 2018) de las cuales el 85 % imparten carreras de ingeniería afines y únicamente el 15 % mantienen colaboración con el clúster automotriz (ver Figura 6.4).

Figura 6.4 Instituciones de Educación Superior del Estado de S.L.P.



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, de las 79 empresas del sector automotriz del Estado, únicamente 7 participan activamente en las actividades del clúster automotriz, lo que representa un 7 % (ver Figura 6.5).

Figura 6.5 Empresas automotrices del Estado de S.L.P.

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

En el Estado de San Luis Potosí, como en otras entidades del país, las empresas del clúster automotriz requieren desarrollar su infraestructura digital para seguir siendo competitivo en los próximos años, lo cual únicamente será posible mediante la virtualización y la digitalización en los procesos de manufactura y toda la cadena de suministros. Sin embargo, como se apreció en el análisis, aunque las empresas demanden el uso de mejores tecnologías, si no se tiene el capital humano en la región e inclusive en el país, preparados para su diseño y empleo, no se podrán incorporar en puestos estratégicos en estas organizaciones.

Debido a que la industria regional demanda el conocimiento de competencias tecnológicas específicas, una estrategia ampliada es realizar reuniones periódicas con *focus group* de un mayor número de representantes de la triple hélice para hacer más productivas y eficientes a las organizaciones haciendo uso de las plataformas que la Industria 4.0 provee.

Por su lado, las IES deben contextualizarse con esta realidad empresarial y realizar esfuerzos para revisar, diseñar y actualizar los contenidos temáticos de las asignaturas que componen la malla curricular y las materias de especialidad para que sean congruentes con las demandas de la industria regional y nacional y se puedan cubrir eficazmente con nuestro capital humano.

Asimismo, es necesario impulsar políticas públicas encaminadas a fortalecer la productividad laboral con miras a definir proyectos estratégicos que potencien el desarrollo y empleo de las tecnologías de la Industria 4.0 y permitan el crecimiento de este sector industrial que es una importante fuente de empleo, por lo que resulta imprescindible una mayor participación de los sectores que integran el Clúster Automotriz.

5. Referencias

Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., ... Ranz, F. (2015). Learning Factories for Research, Education, and Training. *Procedia CIRP*, 32, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>

Aranda, D. (2019). Se consolida en SLP el Clúster Automotriz. Recuperado 18 de mayo de 2019, de El Sol de San Luis website: <https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/se-consolida-en-slp-el-cluster-automotriz-3278533.html>

- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz. (2017). Recuperado 7 de junio de 2019, de <http://www.amia.com.mx/>
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J., & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.022>
- Bodemer, K. (2019). Las relaciones entre México y Estados Unidos bajo el gobierno de Trump. *Anuario Latinoamericano – Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales*, 6(0), 187-212. <https://doi.org/10.17951/al.2018.6.187-212>
- En SLP existen más de 33 mil espacios en educación superior: SEGE. (2018). Recuperado 12 de junio de 2019, de <https://www.globalmedia.mx/articulos/En-SLP-existen-m%C3%A1s-de-33-mil-espacios-en-educaci%C3%B3n-superior-SEGE>
- GlobalMedia. (2019). Crece 27% Clúster Automotriz en SLP, llegaron 8 empresas. Recuperado 13 de junio de 2019, de GlobalMedia website: <https://www.globalmedia.mx/articulos/Crece-27-C1%C3%BAster-Automotriz-en-SLP-llegaron-8-empresas>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *Proceedings of the 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Horizonte2020. (2014). Recuperado 12 de julio de 2019, de <https://eshorizonte2020.es/>
- Industria 4.0: Futuro en el sector automotriz e industrial. (2017). Recuperado 18 de mayo de 2019, de <http://www.automotivesupplynews.com.mx/2018/11/21/industria-4-0-futuro-en-el-sector-automotriz-e-industrial/>
- Industry 4.0: a new challenge for Brazilian industry (N.o Special Survey Industry 4.0; p. 13). (2016). Brazil.
- México escala al cuarto sitio en exportación de autos | El Economista. (2019). Recuperado 10 de junio de 2019, de <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-escala-al-cuarto-sitio-en-exportacion-de-autos-20190326-0158.html>
- México se perfila como cuarto productor de autopartes. (2019, febrero 12). Recuperado 11 de junio de 2019, de Opportimes website: <https://www.opportimes.com/mexico-se-perfila-como-cuarto-productor-de-autopartes/>
- Navarro, G. S., Wong-González, P., & Martínez, A. M. (2019). Medición de la eficiencia técnica de la industria automotriz mediante el Análisis Envolvente de Datos. *Economía Sociedad y Territorio*, 0(60). <https://doi.org/10.22136/est20191294>
- Notimex. (2018). Industria 4.0 permitirá a México ser más competitivo; impulsa la formación de técnicos. Recuperado 18 de mayo de 2019, de El Economista website: <https://www.eleconomista.com.mx/tecnologia/Industria-4.0-permitira-a-Mexico-ser-mas-competitivo-impulsa-la-formacion-de-tecnicos-20181007-0010.html>
- Nuevo Modelo Educativo | TecNM. (2018). Recuperado 18 de mayo de 2019, de <https://nme.tepic.tecnm.mx/eje/index/3/515>
- Pérez, I. (2018). Tecnologías 4.0 para la industria automotriz. Recuperado 18 de mayo de 2019, de México Ciencia y Tecnología website: <http://cienciamx.com/index.php/sociedad/asociaciones/23385-tecnologias-4-0-industria-automotriz>
- Posada, J., Toro, C., Barandiarán, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., ... Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26-40. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>

Programa Estratégico de la Industria Automotriz 2012-2020. (2012). Secretaría de Economía, 33.

S.L.P. se incorpora al Clúster automotriz regional. (2019). Recuperado 19 de mayo de 2019, de <http://planoinformativo.com/640870/slp-se-incorpora-al-cluster-automotriz-regional-slp>

Capítulo 7 Sistema Biomimético para la navegación autónoma en entornos desconocidos

Chapter 7 Biomimetic system for navigation in unknown environments

SIORDIA-VASQUEZ, Xóchitl^{1*}†, ROJAS-HERNÁNDEZ, Miguel Ángel, MILLÁN-TEJEDA, José Omar² y GARCÍA-RAMOS Roman¹

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Prolongación Venustiano Carranza s/n. Col. Revolución, Poza Rica, Veracruz, México, C.P 93390.

²Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica, Luis Donaldo Colosio s/n, Col. Arroyo del maíz, Poza Rica, Veracruz, México, C.P 93230.

ID 1^{er} Autor: Xóchitl, Siordia-Vásquez / **ORC ID:** 0000-0002-8472-8001

ID 1^{er} Coautor: Miguel Ángel, Rojas-Hernández / **ORC ID:** 0000-0001-9294-5842

ID 2^{do} Coautor: José Omar, Millán-Tejeda / **ORC ID:** 0000-0002-2405-6696, **CVU CONACYT ID:** 744814

ID 3^{er} Coautor: Román, García-Ramos / **ORC ID:** 0000-0003-3673-0008

DOI: 10.35429/H.2019.2.88.97

X. Siordia, M. Rojas, J. Millán y R. García

xsiordia@uv.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

En este artículo se presenta el diseño e implementación de un sistema biomimético para el control de la navegación de un vehículo terrestre no tripulado que mapea y localiza obstáculos cambiantes en entornos desconocidos mediante un autómatas celular que utiliza una estructura de hardware basada en células hexagonales organizadas de forma similar a la estructura de un panal de abejas. El autómatas está diseñado como una adaptación del algoritmo bioinspirado en la danza que las abejas emplean para localizar la mejor fuente de alimento. En este sistema biomimético las abejas están representadas por seis sensores láser ToF por tiempo de vuelo montados sobre células hexagonales para cubrir 360° de visión. El autómatas se programa en el software Python y se implementa el sistema embebido en una tarjeta Raspberry Pi 3B. Para validar los resultados, se efectúa el prototipo robótico de un vehículo terrestre de cuatro ruedas, no tripulado, que es controlado por el sistema embebido. Los resultados muestran que el uso de algoritmos bioinspirados permite que el robot se adapte y en tiempo real resuelva el problema de la localización de obstáculos cambiantes, sin necesidad de usar cámaras; facilitando su navegación autónoma cuando está inmerso en un ambiente de navegación desconocido.

Biomimético, Algoritmos bioinspirados, Colonia artificial de abejas, Robot autónomo

1. Introducción

Brindar la capacidad a un robot móvil para determinar su ubicación espacial y detectar los objetos que se encuentran en su ambiente de navegación es una tarea imprescindible de las técnicas de mapeo robótico. El mapeo robótico se enfoca a resolver el problema de adquisición de los modelos espaciales en entornos físicos, en este ámbito se han desarrollado métodos probabilísticos que logran mapear ambientes estáticos con entornos de navegación pequeños con trayectorias previamente planificadas donde los objetos están plenamente identificados.

Las técnicas que principalmente se emplean están fundamentadas en el uso de filtros kalman, filtros de partículas o algoritmos de máxima verosimilitud (Cruz Jimenez, 2017). A pesar de que estas técnicas son robustas sus principales problemáticas son la complejidad computacional de los algoritmos de mapeo debido a que requieren recrear los modelos geográficos utilizando un software especializado y cámaras; ambos aspectos reducen la capacidad de procesamiento del hardware que captura, almacena, procesa y toma decisiones a partir de las imágenes que se obtienen desde la cámara (Fajardo, 2012) lo cual limita su aplicabilidad si se desea mapear de manera simultánea entornos desconocidos, no estructurados, de gran escala, y con objetos dinámicos, siendo éste un campo de investigación abierto y continuo para el diseño de complejos sistemas de navegación robótica (Enriquez, 2017).

Recientemente para la solución de problemas complejos en la robótica se ha utilizado la biomímesis (León, 2018) o rama de la ciencia que estudia la naturaleza e intenta traducir los principios de los sistemas biológicos en técnicas de ingeniería para representar comportamientos complejos a partir de reglas simples (Fernández, 2019) y en este artículo se demuestra su utilidad para el diseño de un sistema de navegación robótica cuando el entorno de navegación es desconocido y con obstáculos cambiantes (Editores, 2011). En este artículo se presenta un sistema biomimético de navegación robótica que imita un hardware similar a la arquitectura hexagonal que forman las células hexagonales de un panal de abejas y propone un método de detección y evasión de obstáculos que se adapta de un algoritmo bioinspirado en la colonia artificial de abejas, ABC que simula la forma que las abejas emplean para calcular la distancia y localización de su fuente de alimento (Torres Terrazas, 2016). En el sistema propuesto las abejas están representadas por sensores láser ToF por tiempo de vuelo, modelo VL53LOX que se montan al interior de las células hexagonales. El algoritmo bioinspirado se diseña como un autómatas de estados finitos que se programa en Python y se implementa como un sistema embebido sobre una tarjeta Raspberry Pi modelo 3B. Para la validación de los resultados el sistema biomimético se implementa en el prototipo robótico de un vehículo terrestre no tripulado de cuatro ruedas y se realizan pruebas de navegación en un ambiente externo, desconocido y con obstáculos cambiantes.

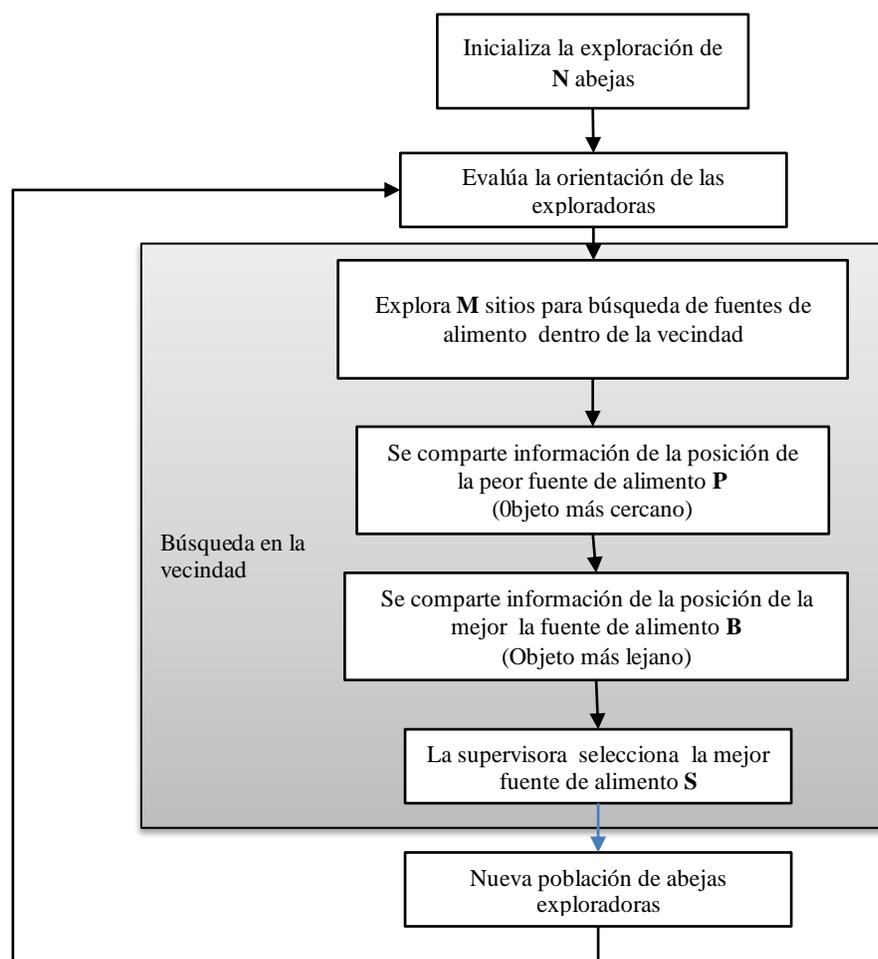
La organización de este trabajo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se explica el modelamiento del sistema biomimético, en la sección 3 se describe la implementación del autómatas embebido como un sistema en la Raspberry Pi 3B.

En la sección 4 se presenta la implementación del prototipo y la respuesta del sistema biomimético cuando el prototipo robótico navega en un entorno desconocido y con obstáculos cambiantes se verifica que realice las acciones evasoras según la regla de navegación definida por el autómata y finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones del trabajo realizado y su aportación a la tecnología de mapeo robótico de sistemas de navegación híbridos reactivos e intuitivos.

2. Modelamiento del sistema biomimético

El método que se propone en este trabajo es una versión modificada del algoritmo ABC, Artificial Bee Colony, propuesto por D. Karaboga (Karaboga & B. Akay, 2012) que se inspira en el comportamiento del enjambre de abejas cuando buscan una fuente de alimento. El conjunto de soluciones consta de un conjunto de fuentes de alimento y tres clases de abejas, obreras, supervisoras y scouts. La posición de la fuente se codifica mediante un ángulo de orientación mientras que la calidad está asociada con la cantidad de néctar que la fuente contiene. Las abejas simbolizan los agentes que operan sobre las fuentes de alimento para generar soluciones candidatas. Las obreras exploran el vecindario de la fuente que tienen asignada y comparten información con la supervisora y éstas tienden a seleccionar las mejores fuentes de alimento por otra parte las scouts salen a explorar a detalle el vecindario en busca de otras fuentes de características similares (F. J. Rodríguez, 2013). La adaptación del algoritmo se esquematiza en la Figura 7.1, teniendo en cuenta el estado de los vecinos utilizando la regla que se ha definido en (J.Sepulveda, 2004).

Figura 7.1 Algoritmo bioinspirado y adaptado del artificial bee colony



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

2.1. Diseño del sistema de adquisición de datos del entorno

El diseño del sistema de adquisición de datos se fundamenta en una arquitectura de celdas hexagonales con 6 sensores que se colocan estratégicamente con una separación de 60° cada uno para lograr un campo de visión de 360° para economizar perímetro y maximizar el área logrando que las piezas encajen sin dejar espacios entre ellas sin traslaparse. Dicha estructura se muestra en la Figura 7.2.

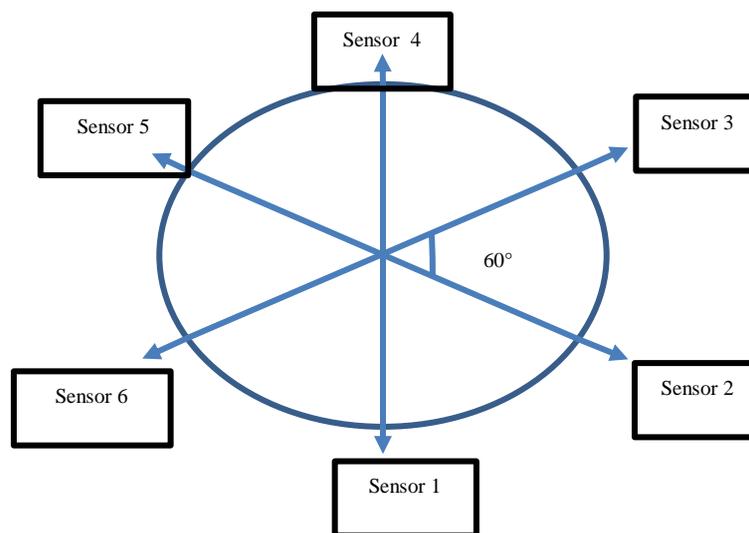
El algoritmo bioinspirado requiere la evaluación constante del entorno de navegación y en este caso lo proporciona la lectura de un arreglo de 6 sensores láser ToF distribuidos bajo el esquema de la Figura 7.3.

Figura 7.2 Arquitectura hexagonal bioinspirada en el panal de abejas



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

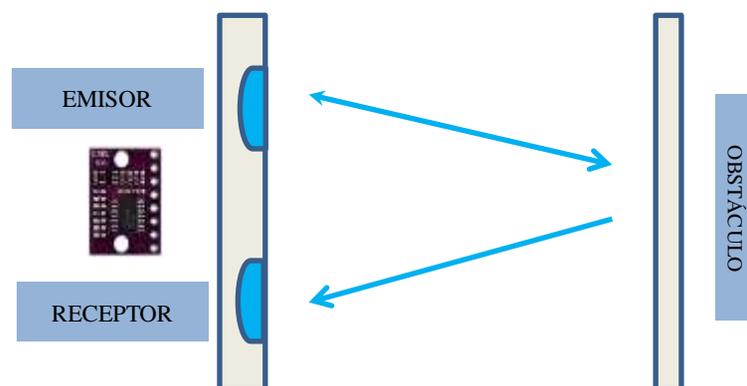
Figura 7.3 Organización del arreglo de sensores



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

Este tipo de sensores ToF por tiempo de vuelo modelo VL53L0X que se ilustra en la Figura 4. contienen una fuente de luz láser invisible con un ángulo de cobertura de 60° y un sensor de coincidencia que detecta la distancia por tiempo de vuelo como un parámetro del tiempo que tarda el haz de luz en regresar al sensor y su principio de funcionamiento se fundamenta en la ecuación 1.

Figura 7.4 Sensor láser ToF por tiempo de vuelo compatible con Raspberry



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

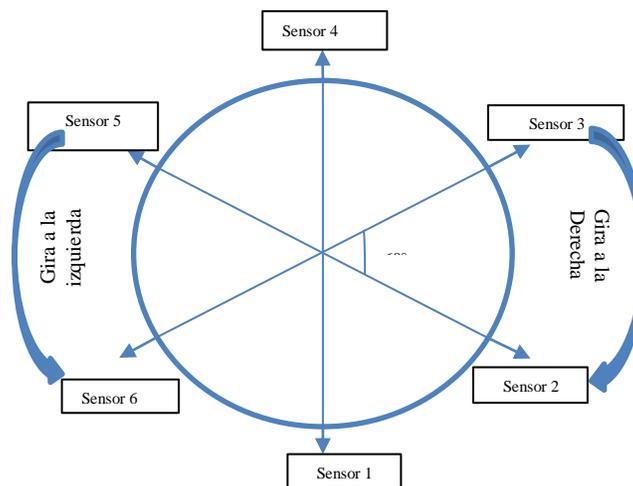
$$= \text{Velocidad de la luz} \times \frac{\text{Tiempo}}{2} \tag{1}$$

2.2. Descripción del modelamiento del sistema y generación de la regla

La regla de localización de los obstáculos y la elección de la ruta de evasión se realizan desde el autómata. El autómata celular se diseña como un arreglo n dimensional de unidades llamadas células que en ese caso están representadas por cada sensor. Cada célula posee una cantidad de estados finitos que están interconectados entre sí de manera conocida. Cabe señalar que sin la presencia de obstáculo los sensores arrojan de manera permanente un bit en estado 0 hacia el bus de datos de la memoria, ante la presencia de obstáculos se envía un bit de estado 1. El autómata establece el un vecindario entre los 6 sensores de modo que el sensor 1 representa al bit menos significativo y el sensor 6 al bit más significativo respectivamente en el bus de datos de la tarjeta Raspberry Pi, formando un vecindario de 2^6 posibles obstáculos candidatos.

El estado actual de la célula no cambia mientras que el sensor no detecte ningún objeto haciendo que el vehículo avance libremente. Si en el sensor 1 se detectará un obstáculo el autómata codificaría la secuencia 000001, de tal modo que cada secuencia de entrada del vecindario que se establece se corresponde con el ángulo donde se encuentra ubicado el sensor el cual servirá de referencia al autómata para que tome la decisión de evadir el obstáculo haciendo que los motores del vehículo terrestre giren hacia la izquierda o derecha según se ilustra en la tabla 7.1 siguiendo las acciones evasoras de la Figura 7.5.

Figura 7.5 Detección y evasión de obstáculos



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

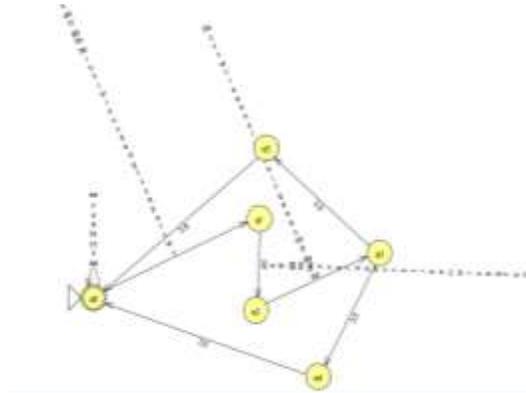
Tabla 7.1 Conjunto de acciones evasoras y entrada al puente H

| δ | Entrada al puente H | | Estado de la rueda |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | Rueda delantera y trasera derecha | Rueda delantera y trasera izquierda | |
| q ₀ | 01 | 01 | Avanzar |
| q ₁ | 00 | 00 | Detener |
| q ₂ | 10 | 10 | Toma de decisión |
| q ₃ | 01 | 00 | Gira a la derecha |
| q ₄ | 00 | 01 | Giro a la izquierda |
| q ₅ | 11 | 11 | Estado prohibido |

Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

Para realizar la navegación se debe tener en cuenta que mientras el sistema no detecte ningún obstáculo vehículo debe avanzar y en caso contrario deberá reducir la velocidad de los motores trasero y delantero proporcionalmente con la distancia y girará al lado indicado debido a la diferencia de velocidades entre sus motores. El modelamiento del autómata se ilustra en la Figura 7.6 y se utiliza el Software JFLAP para comprobar su correcto desempeño.

Figura 7.6 Modelado de autómata en JFLAP

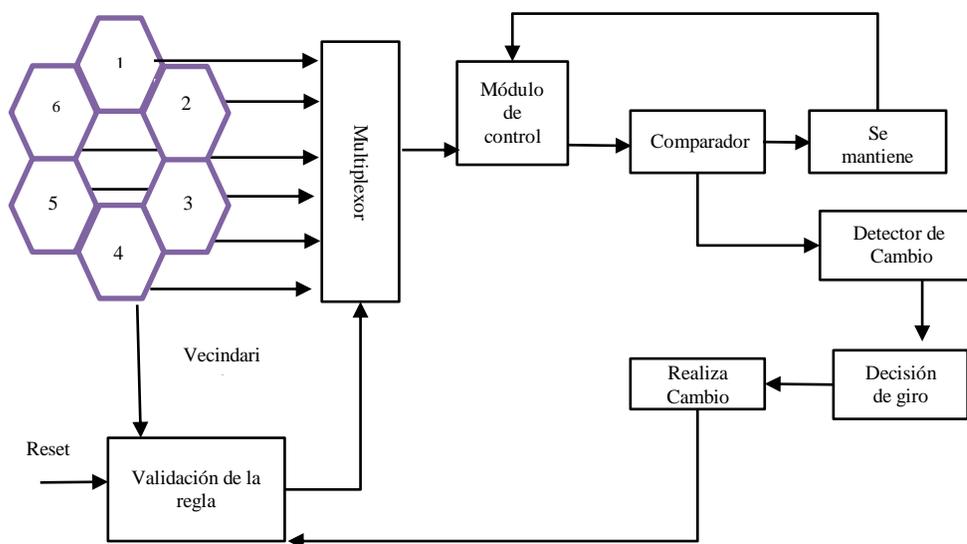


Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

3. Implementación del autómata en el sistema embebido

En la Figura 7.7 se muestra el esquema general de del sistema embebido donde se observa la estructura hexagonal como células de un vecindario establecido para la interconexión de los sensores, el módulo de control, un comparador y la validación de la regla.

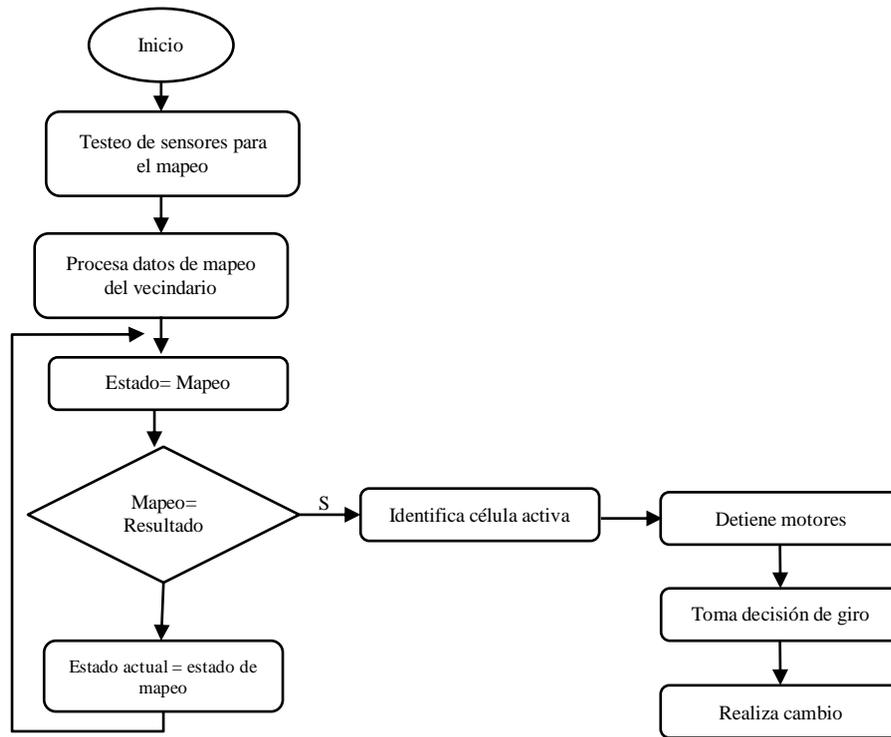
Figura 7.7 Diagrama general del sistema embebido



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

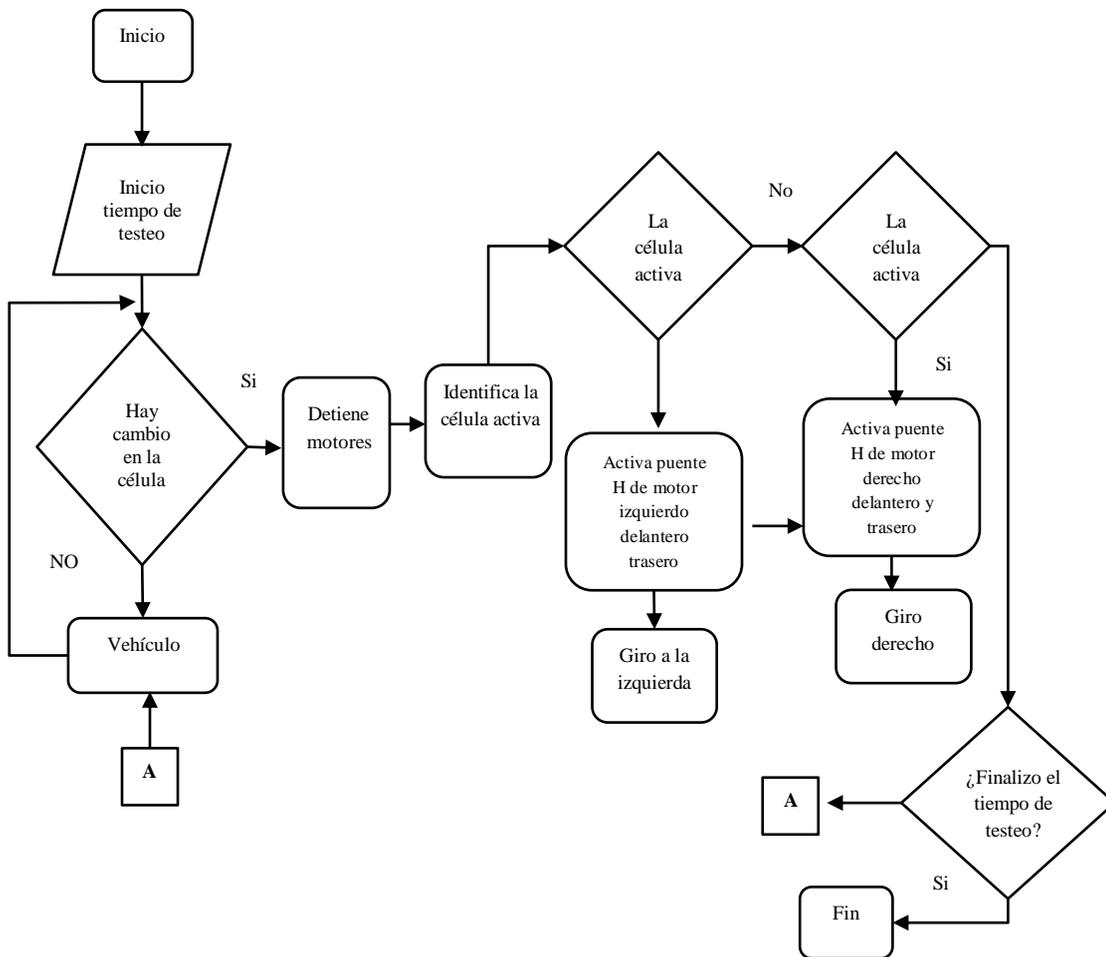
El multiplexor se emplea para seleccionar entre el dato generado por el mapeo que realiza cada uno de los sensores con respecto a la localización de los objetos que cada uno de ellos encuentra en el entorno de navegación. El módulo de control se encarga de manejar el sincronismo de detección de objetos en cada celda y su interacción con el vecindario de las otras celdas que forman el panel, y en la Figura 7.8 se esquematiza el diagrama de flujo que lo representa. El comparador es responsable de comparar el valor del estado anterior con el actual, para determinar si se ha detectado un obstáculo o evaluar cuando la célula permanece en estado estático sin cambio. Si existiera cambio en la célula indica que se ha detectado un obstáculo y el algoritmo mediante un módulo de decisión detiene los motores y evalúa la posición de la célula activa en función de la regla establecida para el vecindario, la identificación de la célula activa es útil para que el autómata determine si la ruta de evasión está al girar a la derecha o a la izquierda, toma la decisión y activa los puentes H de los motores delantero y trasero de la ruta elegida, siguiendo el esquema mostrado en la Figura 7.9.

Figura 7.8 Diagrama de flujo del módulo de control



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

Figura 7.9 Diagrama de flujo del módulo de decisión

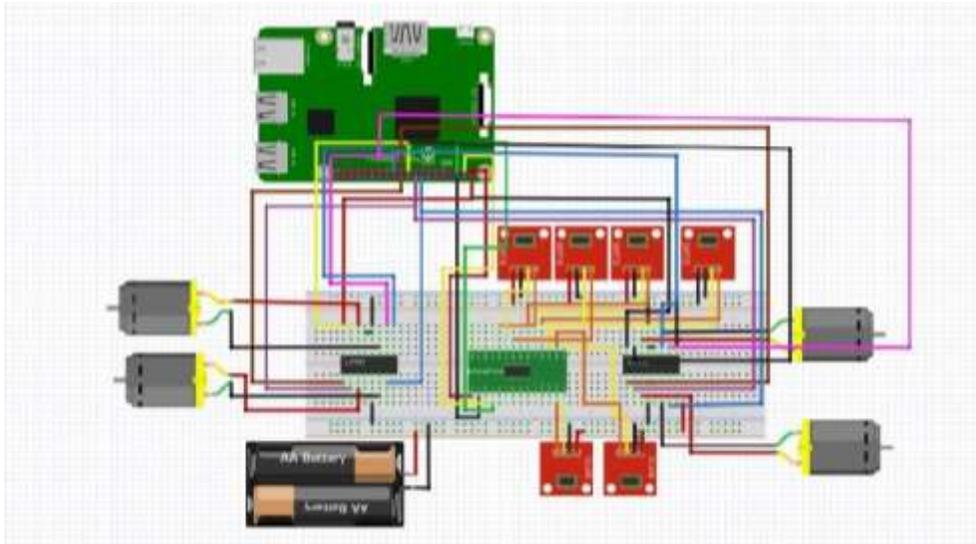


Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

Si existiera cambio en la célula, el algoritmo indica que se ha detectado un obstáculo, y de acuerdo a las reglas establecidas en el módulo de decisión hace detener a los motores y evalúa la posición de cada una de las células activas desde la regla establecida para el vecindario. La correcta identificación de cada célula activa es útil para que el autómata determine la ruta de evasión y tome la decisión de girar a la derecha o a la izquierda, activando los puentes H de los motores delantero y trasero de la ruta elegida, siguiendo el esquema mostrado en la Figura 7.9.

En la Figura 7.10 se describe el diagrama de flujo del algoritmo que se programa en el software Python y se implementa en el sistema embebido definido por la Raspberry Pi modelo 3B siguiendo el esquema electrónico de la Figura 7.10.

Figura 7.10 Esquema del sistema embebido en la Raspberry Pi 3B



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

En la Figura 7.11 se muestra la implementación del sistema embebido para el control de los motores de acuerdo con la regla de navegación definida para el autómata.

Figura 7.11 Implementación del sistema biomimético en vehículo terrestre



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

4. Resultados

Una vez que se han implementado el autómata en la tarjeta Raspberry Pi 3B se procede a la implementación del prototipo del sistema biomimético en el vehículo terrestre no tripulado como se ilustra en la Figura 7.12.

Con el montaje realizado se efectuaron pruebas de navegación para validar el correcto desempeño del autómatas cuando se efectuó la navegación en un entorno grande, externo y no controlado como se ilustra en la Figura 7.12.

Figura 7.12 Implementación del sistema biomimético



Fuente: (Siordia, Rojas, Muñoz, & Herrera, 2018)

5. Agradecimiento

Agradecemos Universidad Veracruzana por todas las facilidades prestadas para la realización de este proyecto elaborado dentro de las actividades de investigación del cuerpo académico “Modelado y Simulación de Sistemas Robóticos Inteligentes” con Fondos Prodep 2017.

6. Conclusiones

En el presente artículo se comprobó que el uso de autómatas celulares resulta ser una herramienta muy poderosa para elaborar modelos descriptivos de sistemas físicos que pueden ser modelados más fácilmente mediante el uso de diagramas y funciones de transición.

El sistema de navegación que se implementó en el sistema embebido permite el mapeo de entornos desconocidos logrando detectar de manera simultánea obstáculos cambiantes sin el uso de los complejos algoritmos computacionales que emplean las técnicas de procesamiento de imágenes.

El uso de sensores minimizan el costo computacional ya que permite el diseño de sistema para control de navegación no solo reactivo sino también intuitivo ya que el algoritmo bioinspirado le permite al sistema tomar decisiones a partir del mecanismo que mapea las células activas en un entorno en 360° logrando no tan solo detectar obstáculos sino que además identifica su ubicación y determina la ruta de evasión, demostrando que es viable su uso para ser implementado en sistemas de navegación de vehículos terrestres o aéreos no tripulados.

El uso de la estructura de células hexagonales permite maximizar el área sin aumentar el perímetro ofreciendo la posibilidad de agregar sensores para el monitoreo de otras variables de interés que sean útiles, situación que en las estructuras circulares propuestas por el sistema Teraranger no es posible de realizar ya que utilizan estructuras circulares que no son posibles de modificar. Estas estructuras circulares requieren como mínimo 12 sensores infrarrojos para monitorear de forma similar un entorno de 360°, siendo esta una desventaja con respecto al sistema que en este documento se propone ya que se ha demostrado que es posible realizar este mapeo utilizando solo 6 sensores.

Se recomienda integrar al sistema un sensor de gps que permita la localización espacial del vehículo para ayudar a planificar otras acciones de navegación que van más allá de su campo de percepción local e integrar técnicas de aprendizaje artificial que le permitan al sistema clasificar los escenarios y tipos de objetos representando las áreas del trabajo futuro para esta investigación.

Referencias

- Cambridge University, P. (2016). Cambridge Dictionary. Obtenido de <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/navigation>
- Cruz Jimenez, B. C. (Junio de 2017). Diseño de una aplicación móvil para la detección de proximidad de objetos basada en sensores. *ECORFAN Revista de Tecnologías Computacionales*, 1(2), 1-8.
- Editores, G. M. (Ed.). (2011). *Darwin y las ciencias del comportamiento* (German Gutierrez y Mauricio Papini ed.). Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Enriquez, I. C. (2017). Diseño y navegacion de un vehículo terrestre no tripulado con sistema de navegacion autonomo. Cd. de México: Universidad Autonoma de México.
- F. J. Rodriguez, M. L.-M.-B. (2013). An artificial bee colony algorithm for the maximally diverse grouping problem. *Information Sciences*(230), 183-196.
- Fajardo, M. H. (December de 2012). SLAM maps builder system for domestic mobile robots navigation. *ECORFAN Journal Computing*, Vol. 3(8), 871-878.
- Fernández, H. V. (2019). ¿ Qué tan natural es la inteligencia artificial? Sobre los límites y alcances de la biomímesis computacional. *Naturaleza y Libertad*, 12, 237-258. doi:<http://dx.doi.org/10.24310/NATyLIB.2019.v0i12.6277>
- J.Sepulveda, C. S. (2004). Metodología de implementacion de automatas celulares en FPGA. IBERCHIP.
- Karaboga, D., & B. Akay. (2012). A modified artificial bee colony algorithm for realparameter. *Information Sciences*,, 192, 120-142.
- Schworer, I. (2005). *Navigation and control of an autonomous vehicle*. Virginia: Virginia Polythecnic Institute.
- Sinder, J. (2009). *Automatic Steering Methods for Autonomous*. Pitsburg: Caenegie Mellon University.
- Siordia, V. X., Rojas, H. M., Muñoz, G. L., & Herrera, G. M. (2018). Sistema Biomimético de detección de obstáculos para el control de navegación de vehículos no tripulados basado en un arreglo de sensores láser de distancia por tiempo de vuelo "To F". Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Poza Rica de Hidalgo.
- Torres Terrazas, G. E. (2016). Swarm algorithms. *Journal Boliviano de Ciencias*, 12(36), 23-29.

Capítulo 8 Sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas

Chapter 8 Myoelectric control system for wheelchairs

MARTÍNEZ-AGUILAR, Gloria Mónica†*, MORALES-IBARRA, Vanessa Maribel, MOTA-BARRAGAN, Martha y MENDIOLA-GARCIA, Yessica

Universidad Tecnológica de Torreón

ID 1^{er} Autor: *Gloria Mónica, Martínez-Aguilar* / **ORC ID:** 0000-0003-3834-4880, **Researcher ID Thomson:** G-3878-2018, **CVU CONACYT ID:** 213558

ID 1^{er} Coautor: *Vanessa Maribel, Morales-Ibarra* / **ORC ID:** 0000 0003 3764 8858, **Researcher ID Thomson:** F-5287-2018, **CVU CONACYT ID:** 387893

ID 2^{do} Coautor: *Martha, Mota-Barragan* / **ORC ID:** 0000-0002-7994, **CVU CONACYT ID:** 973093

ID 3^{er} Coautor: *Yessica, Mendiola-Garcia* / **ORC ID:** 0000-0002-5387, **CVU CONACYT ID:** 599221

DOI: 10.35429/H.2019.2.98.114

G. Martínez, V. Morales, M. Mota y Y. Mendiola

gmartinez@utt.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

Las sillas de ruedas deben permitir que las personas con una discapacidad temporal o permanente sean incluidas en la sociedad. En el desarrollo de este trabajo, se lleva a cabo una adaptación mecánica y electrónica de un sistema de control mioeléctrico de manera simple, económica y personalizada, lo que permite al usuario manejar la silla de ruedas con facilidad, en busca de tecnologías amigables. El desarrollo de este trabajo está diseñado en cuatro etapas: detección electromiográfica, potencia, control y acoplamiento mecánico. Con el desarrollo de estas cuatro etapas, se busca simplificar de manera modular el sistema mioeléctrico a cualquier tipo de silla de ruedas manual, buscando un uso más cómodo e independiente, permitiendo adaptaciones orientadas a las necesidades de cualquier usuario.

Mioeléctrico, Control, Silla de ruedas, Arduino

Abstract

Wheelchairs must allow people with a temporary or permanent disability to be included in society. In the development of this work, a mechanical and electronic adaptation of a myoelectric control system is carried out in a simple, economical and personalized way, enabling the user to easy-handle the wheelchair, looking for friendly technologies. The development of this work is designed in four stages: electromyographic sensing, power, control and mechanical coupling. With the development of these four stages it is sought to simplify in a modular coupling way the myoelectric system to any type of manual wheelchair, looking for a more comfortable and independent use of it, permitting adaptations oriented to any user's needs.

Myoelectric, Control, Wheelchair, Arduino

Introducción

La movilidad del cuerpo humano es algo a lo que se le resta importancia, ya que diariamente la gente se desplaza de un lugar a otro para satisfacer cada una de sus necesidades y llevar a cabo acciones del quehacer cotidiano como levantarse de la cama, salir de compras o ir a pasear. Estas actividades pueden parecer cosas habituales, sin mayor dificultad o comunes y corrientes. Sin embargo, es muy importante considerar que si se tiene en casa a algún adulto mayor o familiar con alguna enfermedad que le impide movilizarse parcial o totalmente, es necesario tomar medidas al respecto para que sus movimientos vitales cotidianos sean placenteros y le permitan continuar con su vida de la forma más armoniosa posible.

En este trabajo se pretende adecuar en una silla de ruedas de uso común un sistema de control mioeléctrico, el cual además de brindar comodidad de movimiento, podrá ofrecer independencia en el usuario, sabiendo que no siempre es posible tener quién ayude al movimiento de la silla de ruedas y el hacerlo por sí mismo puede resultar, al final del día muy cansado. En la actualidad el INEGI proporciona datos que revelan que el 58.2 % del total de la población con discapacidades, le corresponde a aquellos con discapacidad para caminar o moverse por sí mismos, debido a varios factores entre ellos, enfermedades, mostrando un alto porcentaje en adultos mayores.

El sistema de control propuesto está compuesto por un juego de motores, los cuales están siendo manipulados por una tarjeta Arduino uno, la cual recibe información por medio de comunicación bluetooth desde un equipo mioeléctrico, que es colocado en el antebrazo del usuario, a su vez este envía la información de los movimientos realizados. La información es procesada y posteriormente se envían los comandos pertinentes a los motores para realizar movimientos como adelante, atrás, izquierda y derecha. El sistema se acopla a la silla de ruedas de una forma sencilla y segura.

Es importante recalcar que el uso de una silla de ruedas no es exclusivo de las personas que no pueden hacer uso de sus extremidades para desplazarse. En ocasiones, para algunos adultos mayores, o personas laboralmente activas la silla de ruedas es una posibilidad de obtener mayor comodidad e interacción con su entorno social o laboral ya que les facilitará la movilidad sin desgaste físico y preocupación.

Al realizar este proceso de conversión de la silla de ruedas es esencial recordar cuáles son las necesidades concretas que experimenta la persona, además de observar y probar la pulsera miográfica, ya que no todas las personas tienen las mismas capacidades musculares, teniendo como ventaja que el lenguaje de programación es sencillo y fácil de adecuar para los diferentes usuarios que pudieran manejarla.

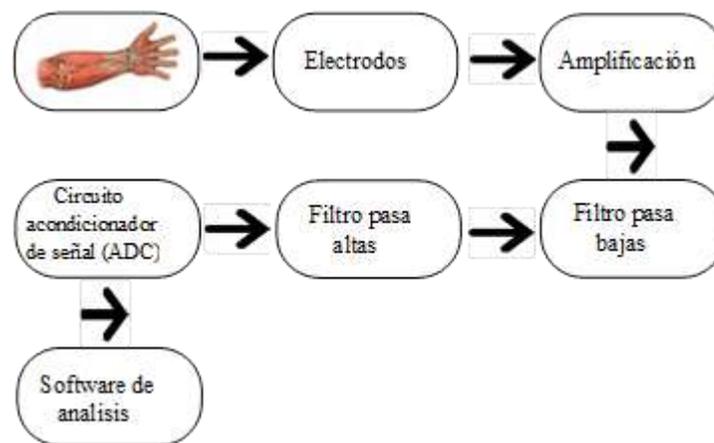
Durante el desarrollo del trabajo se presentaran las características generales de la silla de ruedas, considerando el diseño, la movilidad, los sistemas de seguridad, la ergonomía y la comodidad que sean requeridos para satisfacer las necesidades de uso, además se mostrará la programación para el manejo del control de motores, el funcionamiento de la pulsera Myo y la comunicación entre la pulsera y la tarjeta, la adecuación a la silla de ruedas, las conclusiones, mejoras y resultados obtenidos.

1. Electromiografía

La electromiografía de superficie (SEMG) es una técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica producida por los músculos. Los músculos son órganos eléctricamente activos y las señales y patrones de señales pueden presentar información adicional sobre el estado del mismo, así como el nervio que lo suministra. Las señales generadas por electromiografía tienen una amplitud de 5mV y una frecuencia aproximada de 2-500 Hz.

La electromiografía es usada en aplicaciones clínicas y biomédicas como herramienta para diagnosticar enfermedades neuromusculares, y desórdenes del control motor. Las señales electromiográficas son producidas como respuesta a un movimiento muscular, donde el nivel de esfuerzo está determinado por el número de fibras musculares activadas durante la contracción por una neurona. El potencial eléctrico de una unidad motora puede ser medido utilizando electrodos de aguja o de superficie, un sistema de adquisición y procesamiento de señales mioeléctricas superficiales o SEMG se compone de diferentes etapas, iniciando por la señal mioeléctrica, pasando por etapas de amplificación, filtrado y acondicionamiento de señal para terminar en un software de análisis y poder utilizar dicha señal mioeléctrico de forma adecuada, figura 8.1.

Figura 8.1 Diagrama de bloques del sistema de adquisición de señales SEMG



Fuente de consulta: Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica Versión On line ISSN, 2395-9126. Sistema de detección de señales para la fatiga muscular

Las señales electromiográficas (EMG) pueden ser medidas utilizando elementos conductivos o electrodos sobre las superficie de la piel, o de manera invasiva sobre el músculo utilizando agujas. Sin embargo, la electromiografía de superficie es el método más común de medida, puesto que es no invasiva y puede ser realizada con un mínimo de riesgo sobre el paciente. La amplitud de las señales EMG varía desde los μV hasta un bajo rango de mV (menor de 10mV).

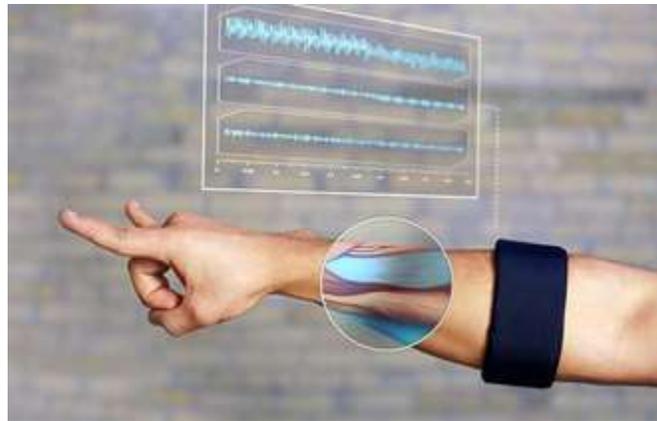
Las señales EMG (también conocidas como MUAPs) son señales eléctricas producidas por un músculo durante el proceso de contracción y relajación. Las MUAPs son la suma de la actividad eléctrica de todas las fibras musculares que forman parte de una unidad motora (MU). La MU se compone básicamente de una neurona motora.

La neurona motora es la encargada de emitir el impulso que provocará la contracción del conjunto de fibras, y de esta manera, provocar el movimiento del músculo.

El control mioeléctrico es un esquema de control, basado en el concepto que siempre que un músculo, en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una señal eléctrica de pequeña magnitud y que es creada por la interacción química en el cuerpo.

Para este proyecto se utilizó el equipo miografico Myo Gesture Control Armband el cual adquiere la actividad mioeléctrica de los músculos del antebrazo, figura 8.2. Este equipo se detalla en el capítulo 3.

Figura 8.2 Funcionamiento de pulsera Myo



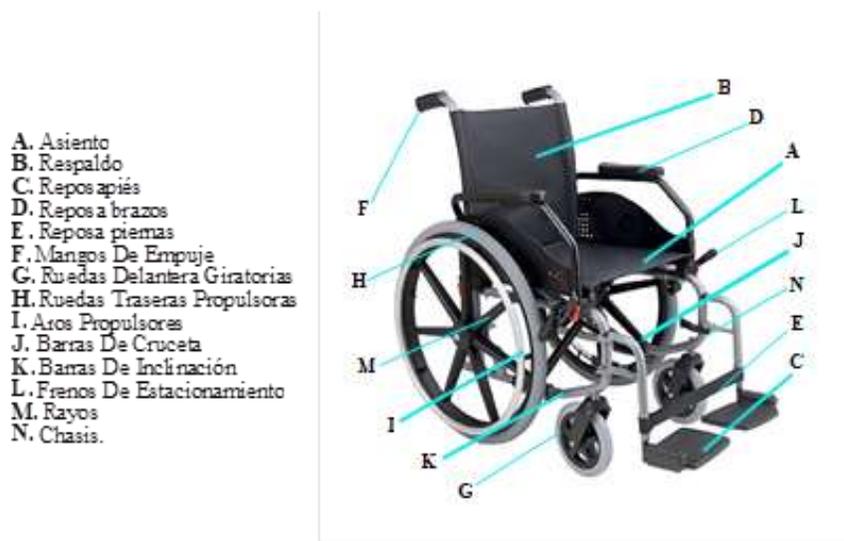
Fuente de consulta: <https://www.xatakahome.com/electrodomesticos-innovadores/myo-un-brazaletes-para-controlar-nuestros-dispositivos-con-gestos>

2. Tipos de sillas de ruedas

Las sillas de ruedas son dispositivos físicos de aplicación que posibilitan o mejoran la realización de actividades del aparato locomotor limitadas por deficiencias o discapacidades de tipo parcial o total, las cuales favorecen el traslado de personas que han perdido, de forma permanente, total o parcial, la capacidad de desplazarse.

En la figura 8.3 se mencionan las partes que componen una silla de ruedas, estas son importantes para el uso y manejo de la misma:

Figura 8.3 Partes de una silla de ruedas



Fuente de consulta: Fuente propia

Es importante realizar una clasificación de sillas de ruedas adecuada para el estudio y función de los dispositivos a utilizar dentro del presente trabajo, enseguida se presenta una clasificación de silla de ruedas que se divide en:

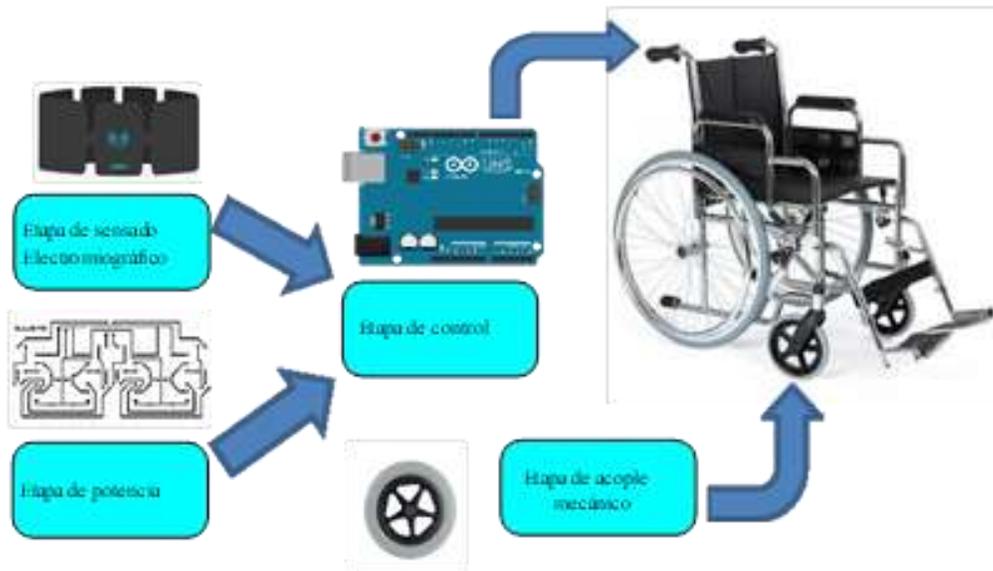
1. **Sistemas dependientes:** Las sillas de ruedas manuales de manejo dependiente no están diseñadas para que las controle el ocupante.
2. **Sillas de transporte:** Es una silla de ruedas manual controlada por un acompañante. Dispone de chasis rígido, reposapiés y reposabrazos que pueden ser abatibles y desmontables. El asiento y el respaldo suelen ser acolchados y son de material impermeable. Su función es trasladar personas con limitación para caminar mediante el manejo de la silla por un asistente.
3. **Sillas de posicionamiento:** Son dispositivos destinados a mantener la postura adecuada, para pacientes que tienen poca movilidad y no logran realizar los cambios de posición de forma independiente.
4. **Sistemas de autopropulsión:** Dispositivos diseñados para que el usuario pueda manejarlos de forma autónoma, sin necesidad de un acompañante, y cubra diversas necesidades.
5. **Sillas plegables tradicionales o estándar (Ortopédicas):** Son los sistemas más convencionales y de uso común para circunstancias temporales. Son plegables, ya que incorporan barras de cruceta y un asiento y un respaldo flexible de material impermeable. Esta silla se impulsa por el propio paciente manualmente.
6. **Sillas Activas:** A partir de información revisada, se delimita que las sillas activas son dispositivos de autopropulsión que suelen ser ultraligeros, el respaldo varía de acuerdo al nivel de equilibrio de tronco, regularmente no tienen apoyabrazos ni mangos de empuje, las ruedas traseras y el asiento suelen ser los únicos desmontables, no logran plegarse ya que cuentan con chasis rígido, aunque actualmente existen modelos nuevos que pueden compactarse y se facilita su transporte.
7. **Sillas Deportivas:** Varían las características de estos dispositivos de acuerdo al deporte o a las necesidades del usuario, mas tienen en común aspectos como: Chasis rígido no plegable, resistente y liviano); ruedas sumamente inclinadas que garantizan mejor movilidad giratoria, aunque aumenta el ancho total de la silla, protección en caso de choque, que también le da mayor dimensión.
8. **Sistemas motorizados:** Son dispositivos que permiten un fácil desplazamiento con el menor gasto energético, usada regularmente sobre terrenos regulares.
9. **Sillas de ruedas eléctricas:** Se conducen con un joystick. Todas las sillas de ruedas eléctricas se programan con una consola informática que permite regular la velocidad, la aceleración y la desaceleración, adaptándolas a las necesidades de cada persona.

El sistema se pensó para la automatización de sillas tradicionales en primer instancia mediante un acople mecánico fácil de implementar.

3. Materiales y Métodos

El diseño del sistema de control electromiográfico para sillas de ruedas se pensó de manera modular como se puede apreciar en la figura 8.4, de donde se derivan 4 etapas: etapa de sensado electromiográfico, etapa de potencia, etapa de control y etapa de acople mecánico.

Figura 8.4 Diagrama a bloques del sistema



Fuente de consulta: Fuente propia

Etapa de sensado electromiográfico

En esta etapa se utilizó el equipo miográfico Myo Gesture Control Armband desarrollado por la compañía Thalmic Labs, Figura 8.5, tiene ocho sensores EMG de acero inoxidable de grado médico. Al igual que otros electrodos de superficie, las señales de EMG devueltas por los sensores representan el potencial eléctrico de los músculos como resultado de la activación muscular. El rango de potenciales proporcionados por el brazalete Myo está entre -128 y 128 unidades de activación. Estas unidades de activación son valores enteros de la amplificación de los potenciales medidos por los sensores EMG. El brazalete Myo es capaz de extraer datos SEMG a una frecuencia de muestreo de 200Hz.

Figura 8.5 Myo Gesture Control Armband



Fuente de consulta: https://www.researchgate.net/figure/Myo-armband-sensor-by-Thalmic-labs-The-bottom-images-present-the-possibilities-for_fig4_328676359

El brazalete Myo también tiene una unidad de medición inercial (IMU) de nueve ejes que contiene un giroscopio de tres ejes, un acelerómetro de tres ejes y un magnetómetro de tres ejes. A partir de estas unidades, la orientación y el movimiento del brazo de un usuario se pueden determinar mediante el análisis de los datos espaciales proporcionados. Los datos de orientación indican la posición del brazalete en términos de roll, pitch y yaw. La velocidad angular del brazalete se proporciona en un formato vectorial y el acelerómetro representa la aceleración que el brazalete Myo está experimentando en un momento dado. Actualmente, el brazalete Myo puede extraer datos de IMU a una frecuencia de muestreo de 50Hz. El brazalete Myo se ha diseñado para funcionar mejor en la parte más ancha del antebrazo, es decir, el antebrazo superior. A diferencia de otros sensores EMG, el brazalete Myo no requiere que el usuario afeite el área alrededor del cual se usará el brazalete.

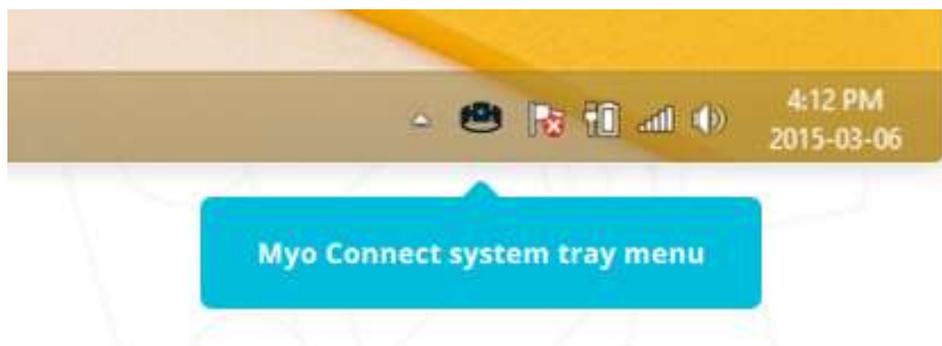
Esto permite procedimientos de configuración más fáciles en entornos experimentales o del mundo real.

Estas características lo hacen idóneo para su aplicación en el sistema. Sin embargo, es necesario que cada usuario realice un paso de calibración antes de usar el gadget. Esto es necesario porque cada usuario tiene un tipo diferente de piel, tamaño muscular, etc., que ayudará al Myo a reconocer los gestos realizados. Otro factor importante relacionado con el enfoque de adquisición de gestos es que el Myo tiene un sensor táctil, responsable de transmitir retroalimentación (tres tipos de intervalos: corta, media y larga vibración) al usuario cuando realiza un movimiento correcto o desea activar el sistema. Para la conexión, el dispositivo utiliza la tecnología Bluetooth Low Energy, que permite una forma razonable y portable de realizar las tareas a las cuales se les implemente este sensor.

Para configurar adecuadamente la Myo es necesario seguir los siguientes pasos mencionados en el siguiente link: <https://support.getmyo.com/hc/en-us/articles/203398347-Getting-started-with-your-Myo-armband>

Una vez que el Myo es sincronizado y calibrado se puede conectar a la etapa de control, cabe destacar que debe conectarse a la computadora para apagarse y prenderse cada vez que se utilice. Myo Connect es una aplicación que se ejecuta en segundo plano, el ícono de la aplicación se muestra en la bandeja del sistema de Windows. Haga clic derecho para las opciones de menú. Doble toque para continuar.

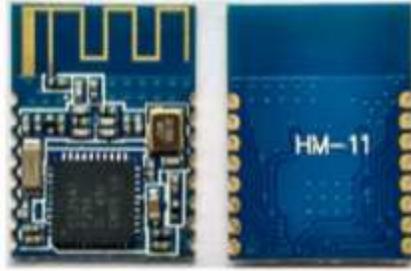
Figura 8.6 Ubicación en Windows de Myo Connect



Fuente de consulta: <https://support.getmyo.com/hc/en-us/articles/203398347-Getting-started-with-your-Myo-armband>

Como ya se ha mencionado el equipo Myo Gesture Control Armband cuenta con reconocimiento de gestos, seguimiento de movimiento y medición de actividad muscular. Estos datos son muy útiles en varias aplicaciones, ya que los datos del sensor y los eventos se envían de forma inalámbrica a través de una conexión BLE a un dispositivo host y no se requiere un cableado complejo. Especialmente los sistemas integrados pueden beneficiarse de la portabilidad del dispositivo, como la plataforma Arduino. Desafortunadamente, la mayoría del hardware BLE tiene un conjunto de funciones muy limitado, ninguno de los módulos BLE disponibles podría conectarse directamente al Myo Armband fuera de la caja. Pero esto se resuelve mediante un firmware personalizado para estos módulos, que luego proporciona acceso a los datos de Myo y los entrega a otro dispositivo, como un Arduino. El Firmware MyoBridge se ajusta exactamente a este propósito. Es un firmware personalizado para el módulo BLE HM11.

Por lo que la conexión de la Myo a la etapa de control se realizó por medio de este módulo bluetooth 4.0, Figura 8.7, el cual es un módulo de montaje superficial (SMD) BLE usado en el BLE Bee y Xadow BLE, basado en un chip TI cc2541 que permite nodos de red robustos para que sean construidos con costos muy bajos de materiales y adecuados para sistemas de muy poco consumo de poder. El módulo es pequeño y fácil de usar, con el firmware pre programado del fabricante se pueden construir rápidamente comunicaciones BLE vía comandos AT.

Figura 8.7 Modulo Bluetooth HM11

Fuente de consulta: <https://www.amazon.com/Genuine-Original-Bluetooth-Wireless-Arduino/dp/B07KNX3MF5>

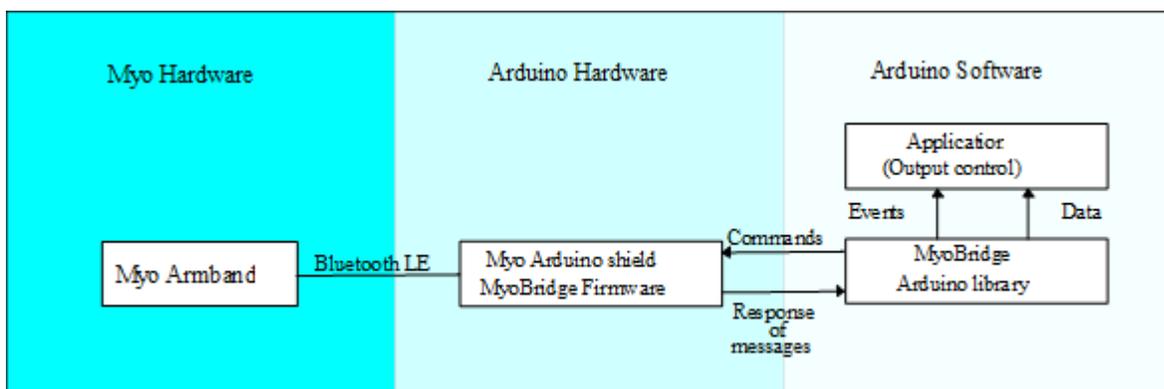
El flasheo del Firmware MyoBridge al módulo HM11 se hace desde la tarjeta Arduino siguiendo los pasos de este link: <https://blog.raquenaengineering.com/arduino-and-the-myo-armband/>

Una vez terminado el flasheo, solo necesitamos probar rápidamente si todo funcionó. La carpeta MyoBridge que se descargó anteriormente viene con un par de sketches de ejemplo, se encuentran en MyoBridge/Arduino/library/MyoBridge/examples/, pero antes de ejecutar cualquier sketch, se debe poner MyoBridge/Arduino/libraries/MyoBridge/src en la carpeta de librerías de Arduino, o comprimir la carpeta src, asignándole el nombre MyoBridge y añadirlo al IDE de Arduino.

Después de agregar la librería se puede cargar un sketch de ejemplo y verificar la correcta comunicación con la Myo. Para esto se desconecta la Arduino una vez cargado el ejemplo y se conecta un cable desde el PIN 2 en el Arduino al PIN de TX en el Módulo BLE, y otro cable desde el PIN 3 en el Arduino al PIN de RX en el Módulo BLE. Se conecta la Arduino a la computadora, se abre el Monitor Serial y se establece la velocidad en baudios a 115200.

Si todo funciona correctamente se ve en el monitor serial la búsqueda de myo ... conectando con myo ... conectado. Seguido por la información de firmware del brazalete Myo.

Cuando el MyoBridge está conectado a la Myo, el Arduino puede enviar comandos o recibir datos de los sensores desde el Myo utilizando la librería MyoBridge.

Figura 8.8 Diagrama a bloques de conexión de Myo y Arduino

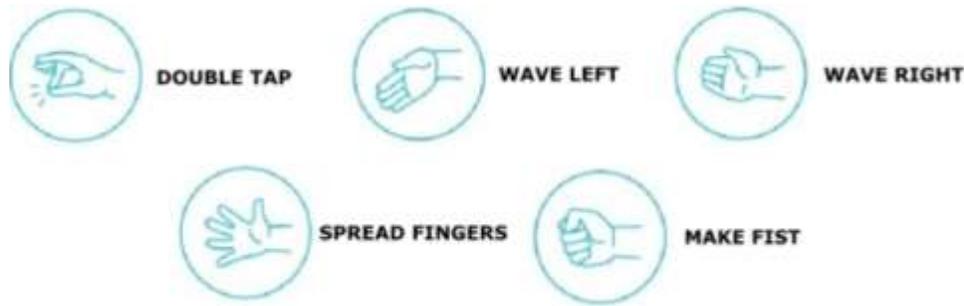
Fuente de consulta: Fuente propia

La comunicación entre HM-11 / MyoBridge y Arduino utiliza una conexión en serie simple de dos cables, mientras que el módulo HM-11 se conecta directamente al brazalete Myo. Así al hacer uso de esta librería en Arduino, se puede leer fácilmente los datos del Myo, sin necesidad de una PC o teléfono intermedio. Los datos se pueden adquirir de tres maneras:

- a. **EMGData.**- Obtienen los datos raw de los 8 sensores SEMG.
- b. **IMUData.**- Obtienen los datos de la IMU.
- c. **PoseData.**- Obtienen en conjunto las anteriores e interpreta la seña realizada.

En el caso del control propuesto se utiliza el modo PoseData. Este modo reconoce cinco movimientos más el descanso del brazo.

Figura 8.9 Movimientos reconocidos por la MyoBridge

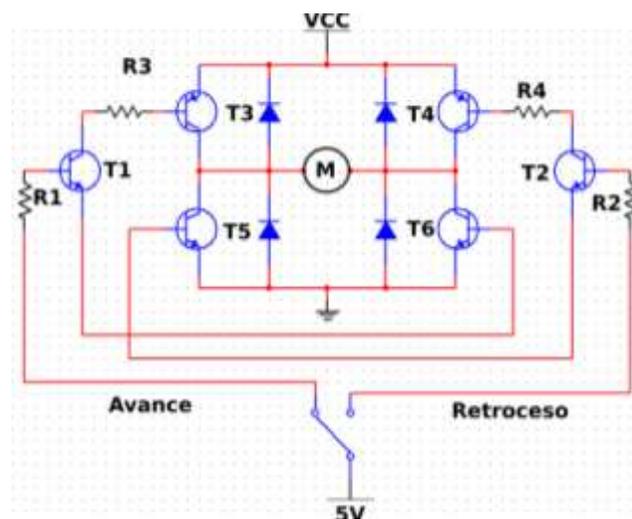


Fuente de consulta: Fuente propia

Etapa de potencia

La etapa de potencia se realizó para el debido control de velocidad y giro con los actuadores del sistema los cuales son dos motores eléctricos elevadas de 12 V a 7A. Para esto se diseñó un puente H.

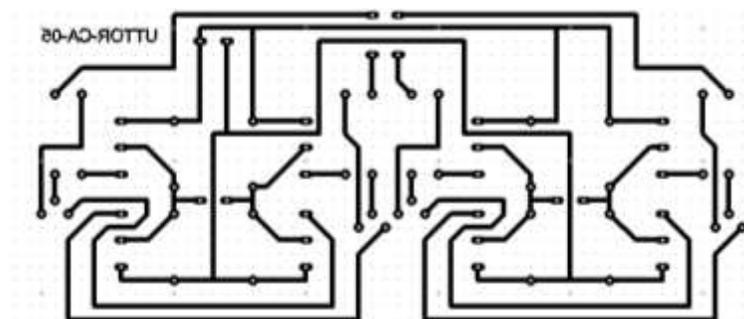
Figura 8.10 Diagrama eléctrico de un puente H con transistores de potencia



Fuente de consulta: Fuente propia

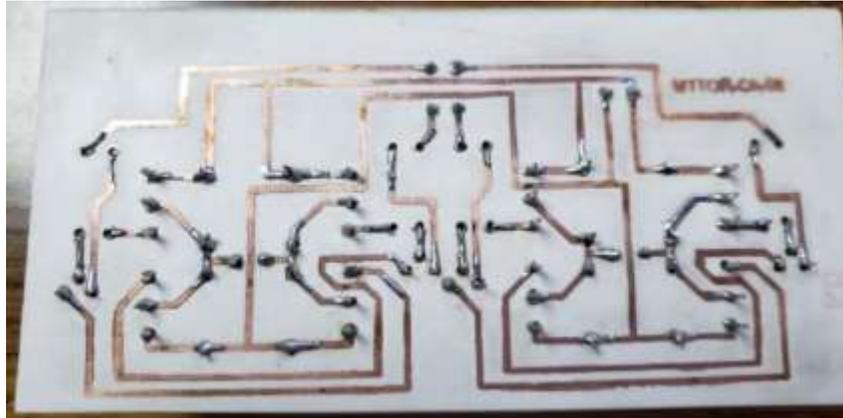
Este se implementó con elementos de potencia para soportar la corriente necesaria en los motores. El diseño del PCB se realizó en PCB Wizard como se muestra en la Figura 8.11, la implementación del circuito se elaboró mediante el método de planchado, para su posterior soldadura de los elementos dando como resultado la Figura 8.12.

Figura 8.11 Diseño PCB de puente H



Fuente de consulta: Fuente propia

Figura 8.12 Puente H elaborado. (a) parte inferior y (b) parte superior



(a)



(b)

Fuente de consulta: Fuente propia

Después de la elaboración del puente H, para la etapa de control se define la tabla de verdad de los direccionamientos que realizarán cada uno de los motores. La definición de esos movimientos es esencial para el posterior enclavamiento de estos con los gestos capturados con la Myo. Como se puede observar en la Figura 8.10 se necesita una combinación de dos bits para el control del puente H lo cual da como resultado una combinación de cuatro posibles direccionamientos, en este caso son dos puentes H, por lo tanto son cuatro bits con un total de 16 posibles direcciones, de las cuales no todas son factibles o de utilidad en el sistema propuesto. En la tabla 8.1 se definen las combinaciones que resultan en direcciones útiles y las que no serán tomadas en cuenta. Donde el Motor 1 se toma como el de la izquierda y el Motor 2 como el de la derecha. En cuanto a las velocidades de los motores, éstas son definidas mediante la etapa de control con un modulador de ancho de pulsos (también conocida como PWM, por sus siglas en inglés de pulse-width modulation), la cual es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (1)$$

Donde:

D es el ciclo de trabajo

τ es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T es el período de la función

En nuestro caso se manejan tres velocidades relativas al PWM: baja (30% de ciclo de trabajo), media (50% de ciclo de trabajo) y alta (90 % de ciclo de trabajo).

Tabla 8.1 Combinaciones de direccionamiento para puente H

| Motor 1 | | Motor 2 | | Direccionamiento |
|---------|----|---------|----|------------------|
| A1 | B1 | A2 | B2 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Stop |
| 0 | 0 | 0 | 1 | No valido |
| 0 | 0 | 1 | 0 | No valido |
| 0 | 0 | 1 | 1 | Stop |
| 0 | 1 | 0 | 0 | No valido |
| 0 | 1 | 0 | 1 | Derecha |
| 0 | 1 | 1 | 0 | No valido |
| 0 | 1 | 1 | 1 | No valido |
| 1 | 0 | 0 | 0 | No valido |
| 1 | 0 | 0 | 1 | No valido |
| 1 | 0 | 1 | 0 | Izquierda |
| 1 | 0 | 1 | 1 | No valido |
| 1 | 1 | 0 | 0 | Stop |
| 1 | 1 | 0 | 1 | No valido |
| 1 | 1 | 1 | 0 | No valido |
| 1 | 1 | 1 | 1 | Stop |

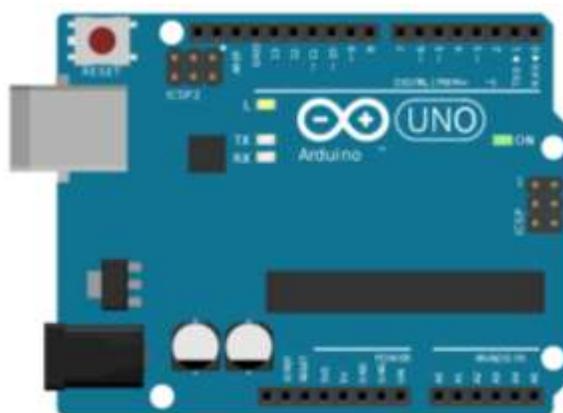
Fuente de consulta: Fuente propia

Como se puede apreciar en la tabla 8.1 hay muchas direcciones No validas o Stop, esto es debido que para que el puente H funcione debe tener sus combinaciones diferentes, si son iguales el motor se queda enclavado, por lo mismo ambos motores deben de moverse para generar una vuelta.

Etapa de control

Como ya se ha venido mencionando la etapa de control es la parte principal del sistema propuesto, es donde se adquieren las señales de entrada del equipo Myo se procesan y se envían los datos de direccionamiento y velocidad a la etapa de potencia. Esta etapa se encuentra embebida en una tarjeta Arduino uno R3.

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

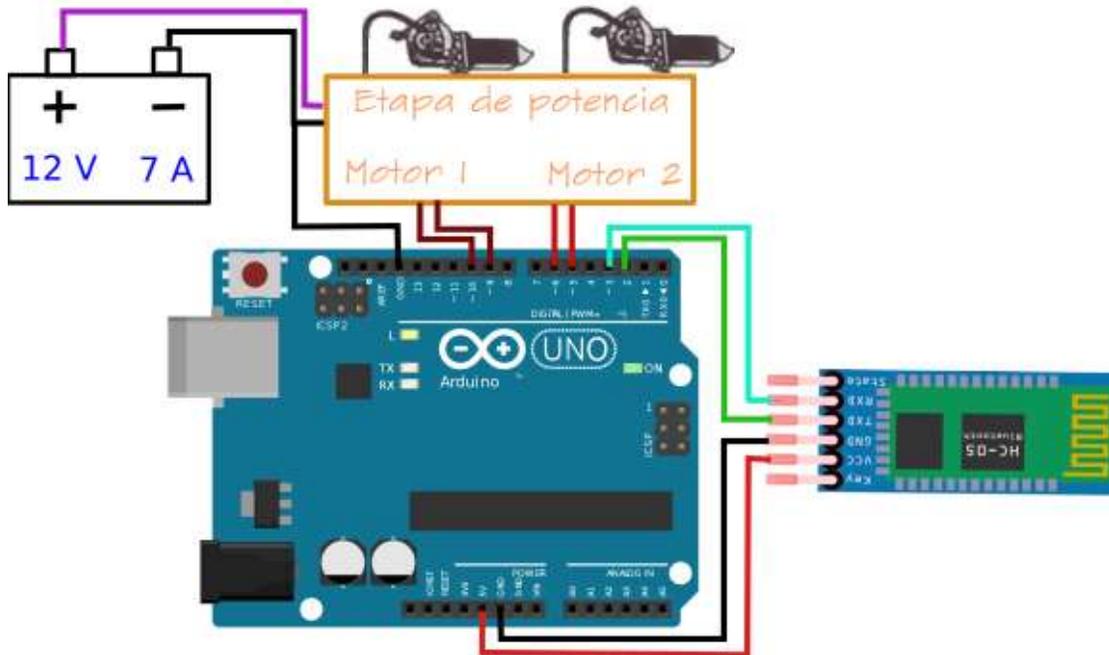
Figura 8.13 Esquemático de tarjeta Arduino Uno R3

Fuente de consulta: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ArduinoUno.svg>

El esquema general de conexión del Arduino en el sistema propuesto se puede observar en la Figura 8.14, donde anteriormente ya se había comentado la conexión del módulo HM11 a los pines digitales 2 (verde) y 3 (azul), el modulo también se alimenta de la tarjeta Arduino (rojo VCC y negro GND).

La etapa de potencia se conecta a dos pares de los pines PWM, pines 6 y 7 para el motor 2 (cables rojo claro) y pines 9 y 10 para el motor 1 (cables rojo oscuro); a su vez para la alimentación de los motores se conecta a una batería de 12V a 7A (voltaje positivo cable morado) donde la tierra (cable negro) es la misma para todos los elementos para evitar voltajes diferenciados en el sistema.

Figura 8.14 Esquema general de conexión de etapa de control



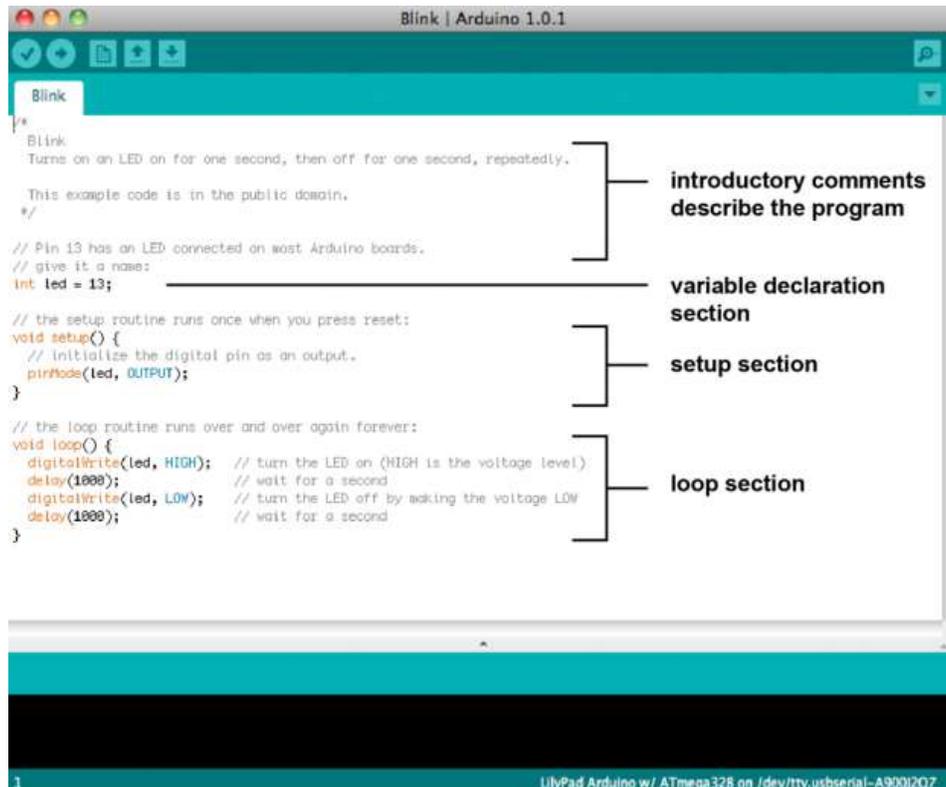
Fuente de consulta: Fuente propia

La programación de la etapa de control se realizó en el IDE de Arduino, un entorno de programación sencillo y potente para programar, pero además incluye las herramientas necesarias para compilar el programa y “quemar” el programa ya compilado en la memoria flash del microcontrolador. Además el IDE ofrece un sistema de gestión de librerías y placas muy práctico.

Un programa de Arduino se denomina sketch o proyecto y tiene la extensión .ino. Importante: para que funcione el sketch, el nombre del fichero debe estar en un directorio con el mismo nombre que el sketch. No es necesario que un sketch esté en un único fichero, pero si es imprescindible que todos los ficheros estén dentro del mismo directorio que el fichero principal. La estructura básica de un sketch de Arduino es bastante simple y se compone de al menos dos partes. Estas dos partes son obligatorias y encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.

- `setup()` – <http://arduino.cc/en/Reference/Setup>
- `loop()` – <http://arduino.cc/en/Reference/Loop>

Adicionalmente se puede incluir una introducción con los comentarios que describen el programa y la declaración de las variables y llamadas a librerías, Figura 8.15. `setup()` es la parte encargada de recoger la configuración y `loop()` es la que contiene el programa que se ejecuta cíclicamente (de ahí el término loop –bucle–). Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje. La estructura del sketch está definida en el siguiente enlace: <http://arduino.cc/en/Tutorial/Sketch>.

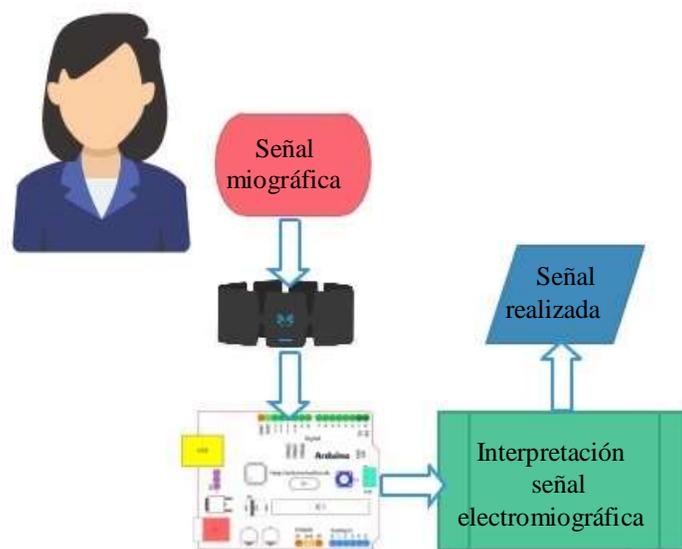
Figura 8.15 Estructura de Sketch de IDE de Arduino

Fuente de consulta: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/23/programacion-arduino-5/>

De manera símil al esquema de la Figura 8.1, la programación del sistema cuenta con dos etapas:

1. Recepción e interpretación de datos del equipo Myo
2. Asignación y envío de direccionamientos y velocidad a la etapa de potencia.

El diagrama de flujo de la primera etapa se puede observar en la Figura 8.16, para la programación de ésta se tomó de referencia el ejemplo PoseData de la librería MyoBrigde.

Figura 8.16 Diagrama de flujo de etapa de sensado electromiográfico

Fuente de consulta: Fuente propia

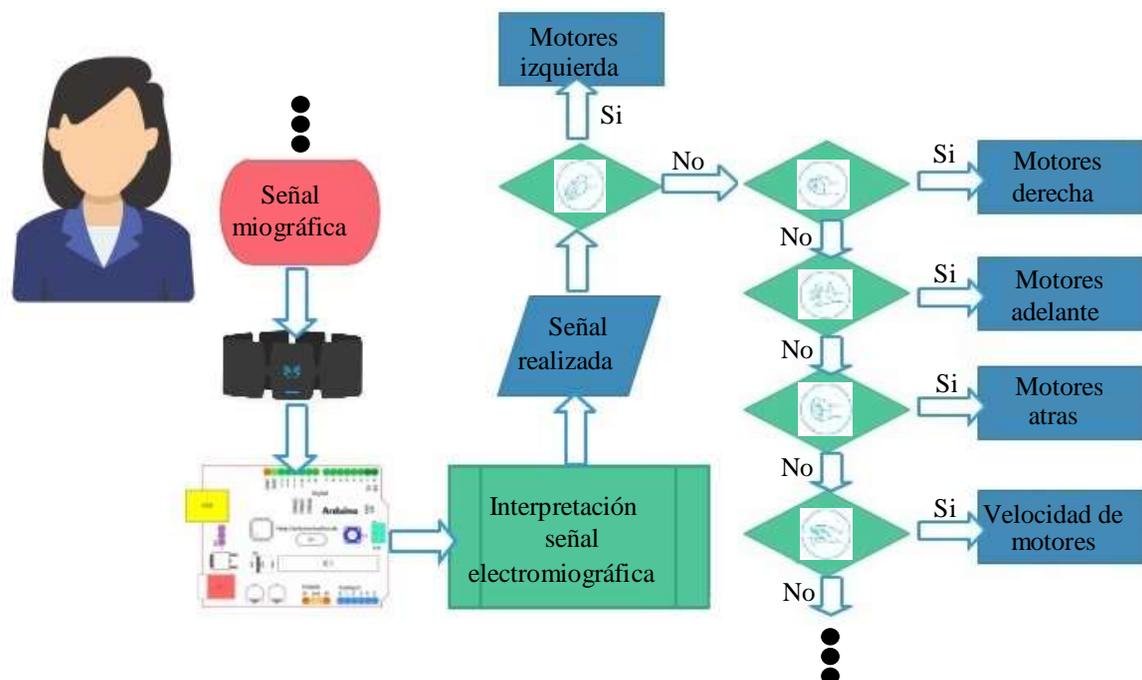
Para el funcionamiento de la segunda etapa fue necesario realizar una tabla de verdad de asignación de direccionamientos y velocidad acordes a los comandos recibidos de la Myo.

Tabla 8.2 Asignación de direccionamiento y velocidades de acuerdo a señales electromiográficas

| Movimiento | Asignación de direccionamiento y velocidades | | |
|--|--|----------------|------------------------|
| | 1er | 2do | 3er |
|  WAVE LEFT | Izquierda | | |
|  WAVE RIGHT | Derecha | | |
|  SPREAD FINGERS | Empezar hacia Adelante | Parar | Empezar hacia Adelante |
|  MAKE FIST | Empezar hacia Atrás | Parar | Empezar hacia Atrás |
|  DOUBLE TAP | Velocidad media | Velocidad alta | Velocidad baja |

Fuente de consulta: Fuente propia

Con la definición de direcciones y velocidades el diagrama de flujo y tomando en cuenta ambas etapas queda como:

Figura 8.17 Diagrama de flujo de etapa de sensado electromiográfico y etapa de control

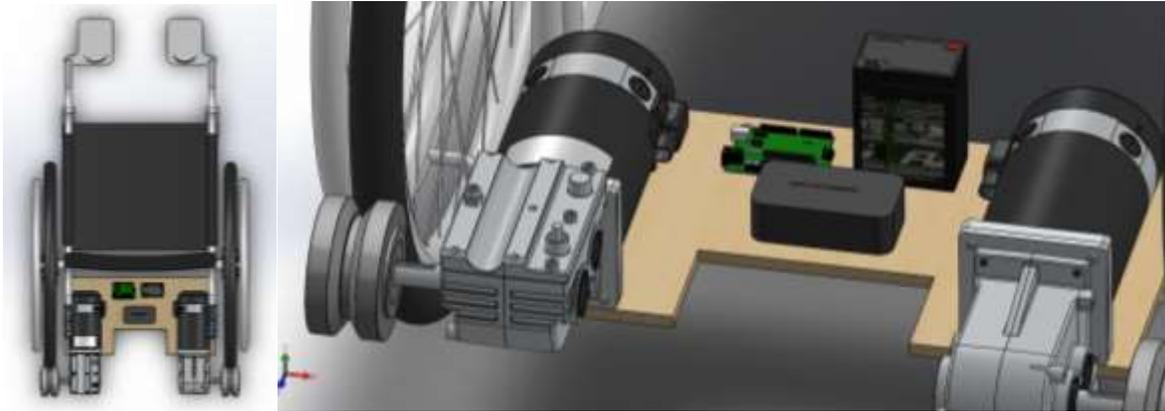
Fuente de consulta: Fuente propia

Como se puede apreciar en la tabla 8.2 algunas señas tienen dos o tres tiempos y en cada uno se realiza una acción diferente, esto se realiza en cada proceso de las señas mediante contadores. Estos procesos envían las señales pertinentes a la etapa de potencia para el movimiento deseado en los motores.

Etapa de acople mecánico

El diseño e implementación del acople mecánico se realizó pensando en no realizar ninguna modificación a la silla de ruedas, para esto a los ejes de los motores se les acopló una llanta con rallado de manera fija, de esta manera al acercar los ejes de los motores al punto de hacer contacto con las ruedas de la silla será suficiente para moverla. En el diseño también se pensó en el soporte de los motores, la etapa de potencia, la etapa de control, así como de la batería de alimentación como se observa en la Figura 8.18.

Figura 8.18 Diseño de acople mecánico. (a) vista superior y (b) zoom de vista isométrica



Fuente de consulta: Fuente propia

4. Resultados

El sistema propuesto cumplió con el objetivo deseado, facilitando la movilidad de una silla de ruedas mediante un control mioeléctrico. Los resultados específicos de cada una de las etapas del sistema de detallan a continuación.

Etapa de sensado electromiográfico

La interpretación de las señales mioeléctricas se verificó mediante una prueba donde se les pidió a cinco usuarios el siguiente procedimiento:

1. Crear y calibrar un usuario en el equipo Myo.
2. Realizar las señas solicitadas por medio de una pantalla de manera aleatoria.
3. Hacer cinco repeticiones del paso dos.

Los resultados de aciertos se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 8.3 Resultados de aciertos de prueba de interpretación de señas mioeléctricas

| Usuario | Repetición | | | | | Total |
|---------|------------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 90% | 90% | 100% | 100% | 100% | 96% |
| 2 | 80% | 100% | 100% | 100% | 100% | 96% |
| 3 | 100% | 90% | 100% | 100% | 100% | 98% |
| 4 | 90% | 100% | 100% | 100% | 100% | 98% |
| 5 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Como se puede apreciar el sistema interpreta con 97.6% de eficiencia, sin embargo, el sensor mioeléctrico mejora su interpretación de acuerdo al número de repeticiones.

Etapa de potencia

La implementación de la etapa de potencia elaborada dio los resultados esperados en el control de los motores del sistema tanto en direccionamiento como en velocidad. Cabe destacar que las velocidades de los motores son adecuadas para la movilización de la silla de ruedas.

Etapa de control

Por medio de esta etapa se logró un control adecuado de la silla de ruedas de acuerdo con la Tabla 8.2, los usuarios opinaron que el control es fácil de maniobrar y entender. De manera similar a la prueba del sensor mioeléctrico se realizaron pruebas de aciertos en los movimientos deseados en el sistema obteniendo un 98% de eficiencia en el sistema.

Etapa de acople mecánico

El acople mecánico diseñado fue el adecuado para la movilización de la silla de ruedas de acuerdo con los comandos señalados por la etapa de control, cabe destacar que es de fácil colocación y ajuste además de ser ligero.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Tecnológica de Torreón por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo y al cuerpo académico de innovación, integración y desarrollo de tecnologías.

Conclusiones

El sistema de control mioeléctrico propuesto obtuvo un 98% de eficiencia en la automatización de la silla de ruedas para los cinco usuarios que lo probaron, es de fácil implementación y asequible, cumpliendo así con el objetivo del sistema.

Cabe mencionar que la pila que se usó es recargable y el sistema tiene ser recargada cada tres horas si se encuentra en uso continuo, por lo que una oportunidad de mejora es implementar un sistema de alimentación que aporte más tiempo en uso. Otra cuestión es que el equipo Myo ya no se fabrica, aunque aún se vende, por lo que sería apropiado adecuar la etapa de control a otro tipo de sensores electromiográficos.

Referencias

- Auat Cheein, F. A., De la Cruz, C., Carelli, R., & Bastos Filho, T. F. (2011). Navegación Autónoma Asistida Basada en SLAM. *RIAI*, 81 -92.
- Villa Moreno, A., Gutiérrez Gutiérrez, E., & Pérez Moreno, J. C. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista Ingeniería Biomédica*, 16 -26.
- Alonso Alonso, A., Hornero Sánchez, R., Espino Hurtado, P., De la Rosa Steinz , R., & Liptak , L. (2002). Entrenador mioeléctrico de prótesis para amputados de brazo y mano . *MAPFRE MEDICINA* , 11 -23.
- Bernal Moncivaiz, B. A., & Martínez, N. N. (2019). Tipos de sillas de Ruedas. Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Cano , R., Hincapie , J., & Garcia , J. (2015). Especificación de una Adaptación Tecnológica a una Silla de Ruedas Eléctricas Aplicando un Enfoque Modular. Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico (págs. 1 - 6). Cuernavaca, Morelos México.: ResearchGate.
- Cano, R., Hincapie, J., & Garcia M, J. (2014). CARACTERIZACIÓN DE REQUISITOS FUNCIONALES DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA USANDO TÉCNICAS DEL DISEÑO DE PRODUCTOS CENTRADO EN EL USUARIO. Publicacion (págs. 1 - 8). colombia: ResearchGate.
- D. Contreras, A., Ramírez-García, , F., & Gallegos, I. , B. (2015). Prototipo de una Prótesis Mioeléctrica para. *Revista de Ingeniería Biomédica* , 77 -92 .
- Daniel Lozano, 2. (2017). *Arduino Práctico*. . México: ANAYA.

INEGI. (13 de Mayo de 2017). La discapacidad en México datos al 2014-2016. Obtenido de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825090203.pdf

Iñaki Aguirre , G., & Balza, M. (2015). Diseño y construcción de un exoesqueleto de brazo con dos grados de libertad controlado con señales mioeléctricas para rehabilitación motora. Redalyc, 96 -105.

Ramírez, A., & Garzón, D. (2008). Análisis de sensibilidad por la colocación de los electrodos en la electromiografía de superficie (semg). Redalyc, 70 - 79.

Salcedo Hernández, L. F., Torres San Miguel , C. R., Urriolagoitia Sosa , G., & Romero, Á. B. (2011). Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas. 10° Congreso Nacional de Mecatrónica (págs. 90 - 96). Puerto Vallarta: Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. .

Torrente. (2015). Arduino. Curso práctico de formación,. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Valero, J., Sandoval, C., Bonilla, Y., & Duque, C. (2012). SISTEMA DE CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS PARA SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO. Memorias del Congreso ASME USB 2012: (págs. 1- 6). Caracas: ResearchGate.

Capítulo 9 Sistema de visión integrado en FPGA para el cálculo de la orientación de objetos usando momentos de inercia de segundo orden

Chapter 9 Vision system FPGA-integrated for object orientation calculation using second order moments of inertia

IBARRA-BONILLA, Mariana Natalia†*, ARAGÓN-MORALES, Jesús Ángel y SÁNCHEZ-TEXIS, Fernando

Instituto Tecnológico Superior de Atlixco. División de Ingeniería Mecatrónica.

ID 1^{er} Autor: *Mariana Natalia, Ibarra-Bonilla* / **ORC ID:** 0000-0001-7123-9105, **CVU CONACYT ID:** 237756

ID 1^{er} Coautor: *Jesús Ángel, Aragón-Morales*

ID 2^{do} Coautor: *Fernando, Sánchez-Taxis* / **ORC ID:** 0000-0002-1792-8855, **CVU CONACYT ID:** 95289

DOI: 10.35429/H.2019.2.115.125

M. Ibarra, J. Aragón y F. Sánchez

mariana.ibarra@itsatlixco.edu.mx

A. Marroquín, J. Olivares, P. Díaz y L. Cruz. (Dir.) La invención y las mujeres en Mexico. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Querétaro, 2019.

Resumen

Este capítulo presenta un sistema de visión capaz de calcular el ángulo de rotación de los objetos capturados por una cámara de video. Se propone un algoritmo basado en los principios de los momentos de inercia de segundo orden. La idea principal es incorporar este algoritmo en un sistema de visión con implementación en FPGA que corrija la orientación de circuitos integrados electrónicos, que son manipulados por una máquina *pick & place*, durante el proceso de fabricación de placas de circuito impreso. El sistema de visión funciona en un FPGA Spartan 6 y controla una cámara OV7670, una pantalla TFT, comunicación RS-232 con una PC y una memoria SDRAM. El algoritmo para calcular la rotación, usando Matlab, se ejecuta en la PC. Los resultados preliminares muestran en promedio una precisión del 99.998% en el cálculo del ángulo de rotación.

Visión, FPGA, Ángulo de rotación, Segundos momentos de inercia

Abstract

This chapter presents a vision system capable of calculating the objects rotation angle captured by a video-camera. An algorithm based on the principles of inertia second order moments is proposed. The main idea is to incorporate this algorithm into an FPGA-vision system that will correct the orientation of electronic integrated circuits, which are manipulated by a pick & place machine, during the printed circuit boards manufacturing process. The vision system performs on a FPGA Spartan-6 and controls an OV7670 camera, a TFT display screen, RS-232 communication with a PC and an SDRAM memory. The algorithm for rotation calculating, using Matlab, is executed on the PC. The preliminary results show in average a precision of 99.998% in the rotation angle calculation.

Vision, FPGA, Angle rotation, Second order moments

1. Introduction

In electronics, a printed circuit board (PCB) is a platform on which the components are mounted to provide electrical interconnections between them. A PCB is found in almost all electronic products. PCB manufacturing is very complicated, requiring large equipment investments and over 50 process steps (LaDou, 2006). One of these processes is the components assembly on the PCB. The miniaturization constant of the electronic components causes a greater PCBs manufacture with surface mount technology (SMT). SMT is the process where the components are welded directly on the plate surface. Currently, the SMT has replaced the through hole technique, as there are no holes to drill, and thus the components can be placed closer, and therefore a reduction in the plate size and better electromagnetic compatibility is generated, because the radiation space is reduced then a smaller number of radiated emissions is produced (Prasad, 2013).

The PCBs manufacture using SMT is complicated, because it requires the different processes execution and equipment large investments, for example a pick & place machine. A pick & place has the function of taking electronic components, such as resistors, capacitors and integrated circuits, and mounting them on the PCB in the position indicated by a computer. This work originates from the need of the Mexican company: INTESC Electrónica & Embebidos, dedicated to the development boards design and manufacture based on FPGA and microcontrollers using SMT (INTESC, 2019). INTESC engineers have developed a pick & place machine with the purpose of increasing their production, reducing assembly time and replacing the operator. However, this machine requires perfecting the integrated circuits positioning on the PCB. The problem arises when the integrated circuits are placed on feeder trays that do not provide an exact position and result in an offset in the components position, therefore, it is necessary to incorporate a position correction system and thus eliminate the offset.

As a solution to this problem, it has been proposed to incorporate a vision system that works out as feedback to the control loop and thus reduce the offset to the microns order. Because the SMT assembly process requires working at high speed and precision, the proposed vision system must be implemented on a computational platform capable of processing images with high performance, for this, the digital signal processors (DSP) are being widely used in high performance applications and a large amount data processing (Ganeswara, 2016), (Rao, et al., 2016).

The FPGA (Field Programmable Gate Array) represent a superior alternative to the DSP, since the FPGA does not have a defined hardware architecture and can be configured according to the user requirements using hardware description languages, such as VHDL, Verilog HDL, etc. (Monmasson, et al., 2011). In contrast, DSPs have a fixed architecture with memory, controller and instructions executed sequentially according to software.

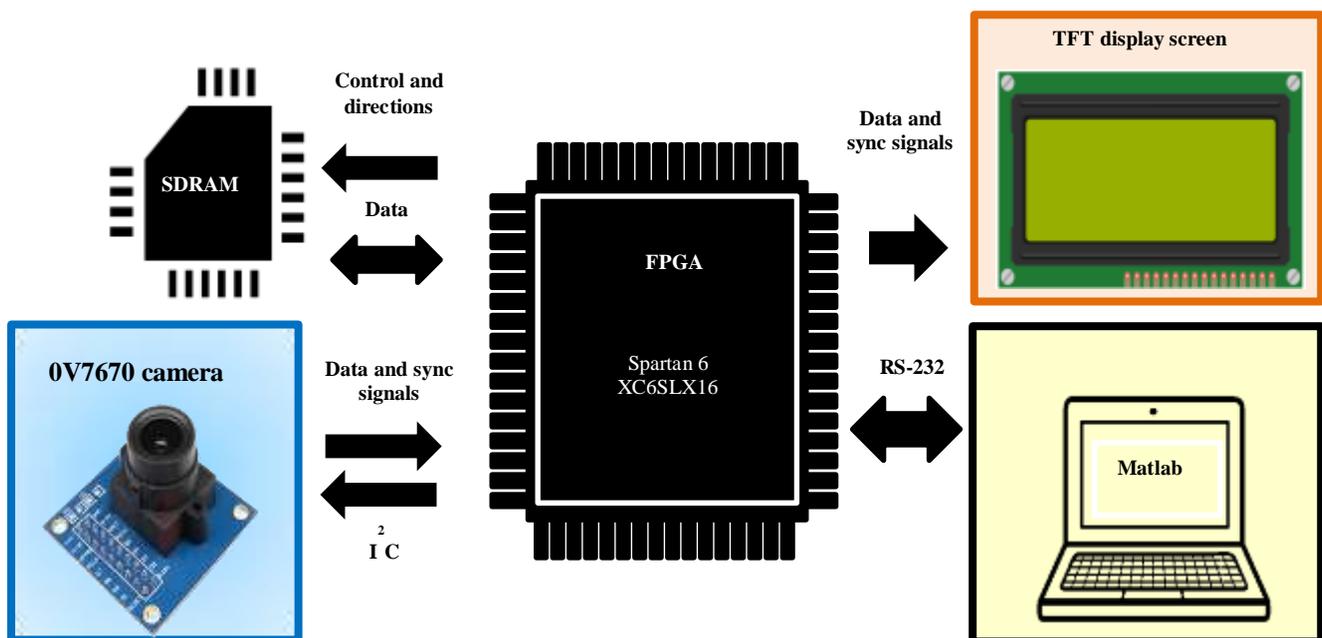
Image processing algorithms must process a large amount of data (pixels) at high speed, and for this type of applications, FPGAs are more suitable due to their parallel processing capacity (Patel, et al., 2017). The above is not possible with DSPs due to their data processing architecture, which is defined as 8-bits, 16-bits, 32-bits, etc. The present project proposes to develop the vision system for the pick & place type manufacturing equipment used an FPGA for high-speed image processing and angle rotation calculation of the components. The FPGA parallel processing capacity makes it more efficient than a DSP.

The chapter organization is as follows: Section 2 describes the FPGA vision system and the proposed methodology. Section 3 presents the description of the algorithm for the rotation angle calculation based on the second order moments of inertia. Section 4 describes the preliminary results. The conclusions and future work are presented in section 5.

2. FPGA vision system

A proposed vision system block diagram is presented in Figure 9.1. The camera incorporates a CMOS VGA OV7670 image sensor, capable of working at a maximum of 30 frames per second at a resolution of 640x480 pixels. The Asserta development board (INTESC, 2019) containing a Spartan-6 XC6SLX16 FPGA and 64 Mb SDRAM memory is used. The FPGA controls the images acquisition and displays the video on a 4.3 inches TFT display screen of 480x272 pixels resolution. The vision system general operation is as follows: the FPGA receives and processes the data from the OV7670 camera, each received frame is saved into the SDRAM memory and sent to the TFT display screen. Additionally, a PC is communicated with the FPGA through the RS-232 serial protocol communication, thus if the FPGA receives an instruction can send the captured image to the PC. For the vision system, the FPGA incorporates 4 IP-cores or controller blocks to operate the OV7670 camera, RS-232 communication, TFT screen and SDRAM memory. The blocks programming was carried out in VHDL language using the Xilinx ISE-Design Suite software. All blocks are interconnected within a general entity for physical implementation in the FPGA Spartan-6. The blocks implemented in the FPGA are presented in Figure 9.2.

Figure 9.1 General block scheme of the proposed system



Reference source: Author

2.2. SDRAM control block

This control block is responsible for storing orderly the pixels to the SDRAM memory. It also performs a processing of each pixel in the image by threshold binarization. Thus, the original information and the binarized information of the image is stored. This process is performed every time the camera control block sends the order to store an image line. In this way, the waiting time between each line capture is used to store the current line. In addition to the above, this block can read an image stored in the SDRAM and send it to the TFT display screen control block or to the RS-232 communication block. This process is performed between each waiting time for capturing a new image from the camera. Then it can be seen that the block functions as a slave system, which awaits the camera control block order or the RS-232 block order. In addition to these two processes, it autonomously transfers the information from the SDRAM to the TFT display screen control for image display. However, if a transfer order, from the RS-232 control, is received, the block interrupts the image transmission to the screen and redirects it to the RS-232 block; providing priority of the transfer to a user computer.

2.3. Bloque de control de RS-232

This block allows to send an image stored in the SDRAM to a computer for processing. The user can select the image type that is transferred between the original image and the binarized image. To perform this task, the block accepts two 8-bits simple commands; the reception of a number 2 indicates the original image transfer and a number 3 indicates the binarized image transfer. The information is sent using a standard format: 1 start bit, 8 data bits and 1 stop bit. The block also verifies that all pixels in the image are sent by counting them. The transfer rate reached by this block is 115200 baud.

2.4. TFT display screen control block

The principal function is to generate the TFT display screen control signals. The screen works under a VGA scheme. That is, the controller must generate the vertical and horizontal synchronization signals, VSYNC and HSYNC, to indicate to the screen when it will start the new image deployment. Pixel data are sent in a 24-bit configuration (8-bits for each color). The block uses a PCLK clock signal to synchronize the data and display of each image line. The image refresh rate is set at 15 frames per second. In relation to the images display and screen control, this block is autonomous, however, to obtain the pixel information the block depends on the SDRAM memory control block. This is due the SDRAM block sends the information when it is available in the memory. However, when it is required to transfer the image to a computer, the SDRAM control block interrupts the information normal sending to this block and instead sends black pixels. For this reason, when an image is being transferred to the user, the display of the image on the screen is interrupted and turns black.

2.5. Image processing

The processing that the FPGA executes on the images consists of a binarization. Applying the rotation calculation on binary images reduces the processing time, because in this type of image it is easier and faster to obtain the geometric and topological properties of the captured objects. To obtain binarization, the first step is to work with the image in grayscale, thus the pixel data are values between 0 and 255. The threshold value is fixed in the grayscale, this value is used to convert to a binary value 0 all pixels whose gray level is lower than that threshold, and a 1 for all those pixels that exceed the threshold. It is worth mentioning that to apply a fixed threshold implies controlling the environment parameters in which the image will be captured, since any variation in lighting can cause changes in the image gray levels that invalidate the fixed threshold. To execute the binarization process in VHDL code, the matrix of the green color plane, of the RGB format, is acquired. Since being a 565 format, it is the plane that has the most information. The pseudocode present in Table 9.1 is executed in the FPGA.

Table 9.1 Binarization process using a 75-fixed threshold

| Algorithm. Fixed Binarization. |
|---|
| <pre> im : grayscale image of size (rows, columns) imB : binary image threshold = 75 Initialize imB = 0 While is moving im(x,y) x = 1... rows, y = 1... columns If im(x, y) > threshold imB = 1 End End Return imB </pre> |

Reference source: Author

3. Rotation angle calculating algorithm

In this work, the orientation is determined by calculating the axis, with respect to the minimum moment of inertia (De la Fuente and Trespaderne, 2012). The minimum axis of inertia of a region will be the line $Ax + By + C = 0$, such that the sum of the squared distances between the object pixels and the line is minimal (Hibbeler, 2004). As presented in Figure 9.4, the vector $(A, B) = (\cos \theta, \sin \theta)$ is a perpendicular vector to the line, being θ the angle that forms the perpendicular from the origin to the line with the axis x . Thus, the angle θ is easily obtained after the second order moments calculation, I_{xx} , I_{yy} and I_{xy} . The axes of inertia pass through the object center of gravity (x_g, y_g) . According to De la Funete and Trespaderne, and based on the equations applied in vector mechanics (Hibbeler, 2004), the three second order moments of inertia of a region I_{xx} , I_{yy} and I_{xy} are expressed:

$$I_{xx} = \sum_{x=1}^r \sum_{j=1}^c (x - x_g)^2 \cdot B(x, y) = \sum_{i=1}^N (x_i - x_g)^2 \quad (1)$$

$$I_{xy} = \sum_{x=1}^r \sum_{j=1}^c (x - x_g) \cdot (y - y_g) \cdot B(x, y) = \sum_{i=1}^N (x_i - x_g) \cdot (y_i - y_g) \quad (2)$$

$$I_{yy} = \sum_{x=1}^r \sum_{j=1}^c (y - y_g)^2 \cdot B(x, y) = \sum_{i=1}^N (y_i - y_g)^2 \quad (3)$$

The sum of all squared distances $\sum_{i=1}^N d_i^2$ is given by:

$$\sum_{i=1}^N d_i^2 = \cos^2 \theta \cdot I_{xx} + \sin^2 \theta \cdot I_{yy} + 2 \cos \theta \sin \theta \cdot I_{xy} \quad (4)$$

To determine the line that minimizes the sum of the squared distances, equation (4) is derived with respect to the parameter θ , and equals 0, which results:

$$-2 \cos \theta \sin \theta \cdot I_{xx} + 2 \cos \theta \sin \theta \cdot I_{yy} + 2(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \cdot I_{xy} = 0 \quad (5)$$

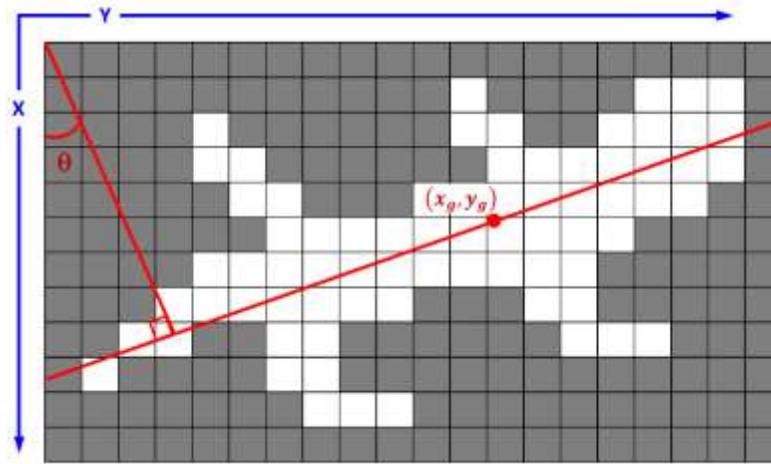
By trigonometry, it is known that $(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) = \cos(2\theta)$ and $2 \cos \theta \sin \theta = \sin(2\theta)$, so that equation (5) is rewritten:

$$\sin(2\theta) \cdot (I_{yy} - I_{xx}) + 2 \cos(2\theta) \cdot I_{xy} = 0 \quad (6)$$

Finally, the angle θ is:

$$\theta = 0.5 \arctan \frac{2I_{xy}}{I_{xx} - I_{yy}} \quad (7)$$

The angle of rotation of the object captured by the camera is obtained applying the equation (7), the atan2 function is used to avoid indeterminacies.

Figure 9.4 Representation of the object orientation on an image

Reference source: (De la Fuente and Trespaderne, 2012)

In order to calculate the moments of inertia it is necessary to extract some characteristics of the image: area and center of gravity of the detected object. The area of a region on the image is given by the number of pixels that constitute it, so it is given by the expression:

$$Area = \sum_{x=1}^{rows} \sum_{y=1}^{columns} B(x, y) \quad (8)$$

The area is also called zero order moment. The center of gravity is obtained from the first order moments divided by the area.

$$x_g = \frac{\sum_{x=1}^r \sum_{y=1}^c x \cdot B(x, y)}{Area} \quad (9)$$

$$y_g = \frac{\sum_{x=1}^r \sum_{y=1}^c y \cdot B(x, y)}{Area} \quad (10)$$

The algorithms for obtaining the center of gravity and the moments of inertia calculation are presented in Tables 9.2 and 9.3.

Table 9.2 Obtaining the object center of gravity on the image

| Algorithm. Center of gravity |
|--|
| imB: binary image (0=Background, 1=Objet) of size (<i>rows</i> , <i>columns</i>) |
| area = 0 |
| Ix = 0 |
| Iy = 0 |
| While is moving imB(x,y) $x = 1 \dots rows, y = 1 \dots columns$ |
| If imB(x, y) $\neq 0$ |
| area = area + 1 |
| Ix = Ix + y |
| Iy = Iy + x |
| End |
| End |
| Cx = Ix/area |
| Cy = Iy/area |
| Center = [Cx Cy] |

Reference source: Author

Table 9.3 Obtaining the second order moments

| Algorithm. Second order moments of inertia | |
|---|--|
| imB: binary image (0=Background, 1=Objet) of size (<i>rows</i> , <i>columns</i>) | |
| Center: vector with the coordinates of the center of gravity (<i>row</i> , <i>column</i>) | |
| Ixx = 0 | |
| Iyy = 0 | |
| Ixy = 0 | |
| While is moving imB(x,y) $x = 1 \dots rows$, $y = 1 \dots columns$ | |
| If imB(x, y) $\neq 0$ | |
| Ixx = Ixx + (y - Center(1)) ^ 2 | |
| Iyy = Iyy + (x - Center(2)) ^ 2 | |
| Ixy = Ixy + (y - Center(1)) * (x - Center(2)) | |
| End | |
| End | |

Reference source: Author

4. Results

In order to validate the algorithm for calculating the orientation and evaluate its performance, the code was written in the Matlab software. The Matlab preliminary use is due to the difficulty to execute floating point divisions in the VHDL language and to the calculation of trigonometric functions such as arctangent, however the intention is to translate the algorithm into this language, so that it works completely in FPGA. Matlab provides the image processing toolbox, which includes the regionprops command. This command is used to measure the properties of a region in an image, so it is possible to obtain the orientation of the image by directly applying this command. Different test images were generated in the Fireworks CS6 design software, which by rotating an image provides the angle of rotation.

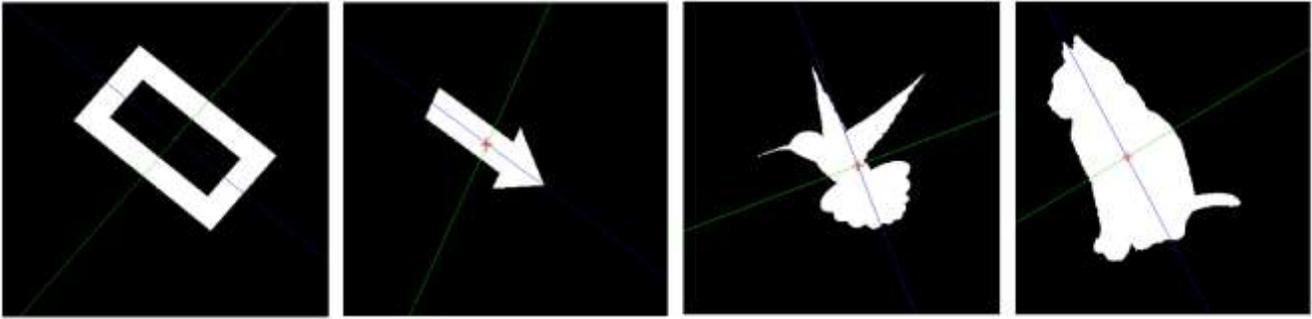
Therefore, the results of the algorithm are compared with the rotation angles obtained with Matlab and Fireworks. The integrated circuits encapsulates that a pick & place machine manipulates, to which this work is directed, generally have a square or rectangular geometric shape, however to evaluate the algorithm, more complex figures were also used, such as those presented in Figure 9.5. Table 9.4 presents the comparison of the results obtained with 10 different images. Considering the Fireworks measure as the reference, the second moment of inertia algorithm delivers an average accuracy on the x-axis of 99.966% and on the y-axis of 99.968%.

Table 9.4 Results comparison of the orientation angle using test images

| Image | Fireworks [θ_x , θ_y] | Regionprops [θ_x , θ_y] | 2 nd order moments algorithm [θ_x , θ_y] |
|-------|--|--|--|
| 1 | [-80°, -10°] | [-80.004°, -9.996°] | [-80.004°, -9.995°] |
| 2 | [-40°, -50°] | [-39.995°, -50.009°] | [-39.993°, -50.005°] |
| 3 | [-60°, -30°] | [-60.002°, -29.997°] | [-60.002°, -29.998°] |
| 4 | [-70°, -20°] | [-70.005°, -19.994°] | [-70.005°, -19.995°] |
| 5 | [-80°, -10°] | [-80.005°, -9.996°] | [-80.004°, -9.996°] |
| 6 | [90°, 0°] | [90°, 0°] | [90°, 0°] |
| 7 | [10°, 80°] | [9.986°, 80.013°] | [9.986°, 80.013°] |
| 8 | [30°, 60°] | [29.995°, 60.004°] | [9.991°, 60.009°] |
| 9 | [50°, 40°] | [50.013°, 39.986°] | [50.014°, 39.986°] |
| 10 | [70°, 20°] | [70.005°, 19.994°] | [70.005°, 19.995°] |

Reference source: Author

Figure 9.5 Examples of test images generated in Fireworks



Reference source: Author

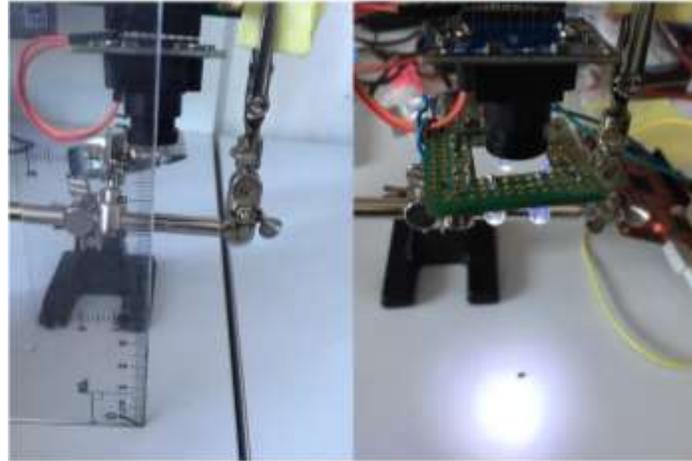
To execute the tests with the images captured by the OV7670 camera, the physical assembly of the Figure 9.1 scheme was performed. The camera and the TFT display screen are attached to the Asserta-board, which contains the FPGA Spartan-6, as observed in the Figure 9.6. Because the image binarization process uses the fixed threshold method, it is necessary to keep the lighting conditions controlled, since variations in the scene lighting can cause changes in the image gray levels that invalidates the threshold set. For this reason, a three LED array is incorporated to keep the lighting stable, which is displayed in Figure 9.7.

The final tests consisted of the images capture by the FPGA, which were sent by RS232 to a PC, where the algorithm of the second moments was executed in Matlab software. Until now, the captures are made in a controlled environment, because the integrated circuit is placed on a white surface and 10 cm away from the camera. These integrated circuits are of SMT technology, such as those manipulated by the pick & place machine. Figure 9.8 presents the integrated circuits 4-types encapsulation and Table 9.5 the results of these images. For each type of encapsulation, 5 images with different rotations were generated, completing 20 test images. By checking the 20 images in the algorithm and comparing it with the results obtained from the Matlab regionprops command, an average accuracy of 99.998% was obtained. This result is important because many industrial applications require to know the orientation of an object. For example, the robot grip requires the rotation of the object to close properly and thus succeed in capturing (De la Fuente and Trespaderne, 2012). Thus, our algorithm can expand its applications in the industry.

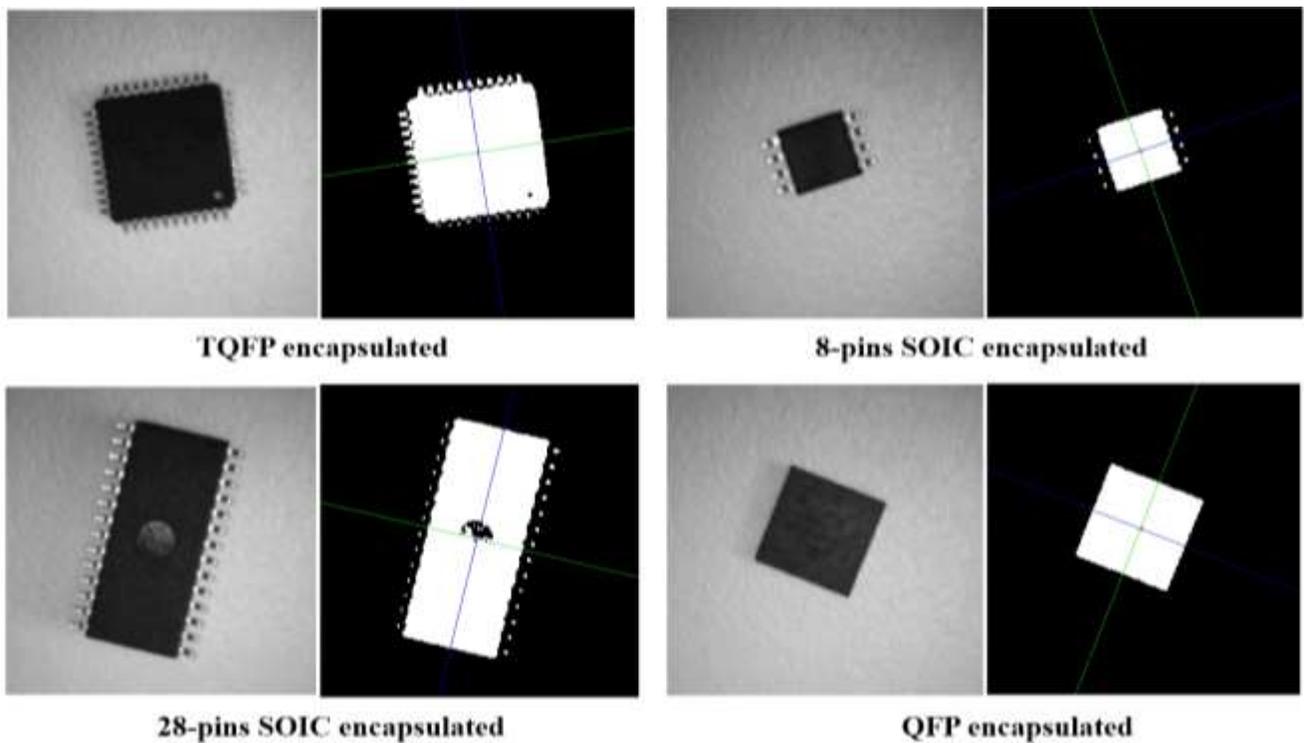
Figure 9.6 Physical assembly of the system



Reference source: Author

Figure 9.7 LED assembly for lighting control

Reference source: Author

Figure 9.8 Images captured from the OVG camera by FPGA and binarization results

Reference source: Author

Table 9.5 Rotation angle results

| Encapsulated | Regionprops $[\theta_x, \theta_y]$ | 2 nd order moments algorithm $[\theta_x, \theta_y]$ | % Precisión $[x, y]$ |
|--------------|---------------------------------------|---|-------------------------|
| TQFP | $[-80.004^\circ, -9.997^\circ]$ | $[-80.004^\circ, -9.996^\circ]$ | $[100\%, 99.99\%]$ |
| SOIC-8p | $[19.079^\circ, 70.921^\circ]$ | $[19.078^\circ, 70.921^\circ]$ | $[99.99\%, 100\%]$ |
| SOIC-28p | $[76.546^\circ, 13.455^\circ]$ | $[76.544^\circ, 13.456^\circ]$ | $[99.73\%, 99.99\%]$ |
| QFP | $[-21.381^\circ, -68.619^\circ]$ | $[-21.381^\circ, -68.619^\circ]$ | $[100\%, 100\%]$ |

Reference source: Author

5. Acknowledgments

The first author appreciates the financial support of the Tecnológico Nacional de México for the realization of the project, under the program of Support for Scientific Research and Technological Development of the educational programs of the Decentralized Technological Institutes 2018.

6. Conclusions

A vision system with video capture in FPGA and rotation angle calculation in Matlab was presented. The VHDL-code consisted of the OV7670 video camera controller, a TFT display screen, SDRAM memory and RS-232 communication with a PC. On the PC an algorithm is executed in Matlab to calculate the angle of rotation of the object captured by the camera. This algorithm is based on the principles of the second order moments of static inertia. According to preliminary tests, performed on 20 integrated circuits images, this algorithm has an average accuracy of 99.998%, which is expected to solve the problem of surface mounting that presents a pick & place machine developed by the mexican company INTESC, when assembling components to their development boards. The work in progress consists in translating the Matlab algorithm code into VHDL language, so that the whole system is in a hardware implementation and can be installed in the pick & place machine. Finally, it is suggested that to apply this algorithm in the industry it will be necessary to increase the camera resolution by a minimum of 5 megapixels and thus achieve better vision results, as well as work in a white light environment.

7. References

- De la Fuente López, E., & Trespaderne, F. M. (2012). *Visión artificial industrial: Procesamiento de imágenes para inspección automática y robótica*. Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.
- Ganeswara-Rao M. V., Panakala, R. K. and Mallikarjuna-Prasad A. "Image Processing using FPGAs: a Framework". *IJCTA International Science Press*, vol. 9, no. 19, pp. 9191-9197, 2016.
- Hibbeler, R. C. (2013). *Engineering Mechanics: Statics*. Pearson Education.
- INTESC Electrónica & Embebidos (01-04-2019). Main page. México: Intesc. <https://www.intesc.mx/>.
- LaDou, J. (2006). Printed circuit board industry. *International journal of hygiene and environmental health*, 209(3), 211-219.
- Monmasson, E., Idkhajine, L., Cirstea, M. N., Bahri, I., Tisan, A., & Naouar, M. W. (2011). FPGAs in industrial control applications. *IEEE Transactions on Industrial informatics*, 7(2), 224-243.
- Patel, D., Parmar, R., Desai, A., & Sheth, S. (2017, January). Gesture recognition using FPGA and OV7670 camera. In *2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)* (pp. 1-4). IEEE.
- Prasad, R. (2013). *Surface mount technology: principles and practice*. Springer Science & Business Media.
- Rao, M. G., Kumar, P. R., & Prasad, A. M. (2016, January). Implementation of real time image processing system with FPGA and DSP. In *2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom)* (pp. 1-4). IEEE.

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 (Dir.) *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 1.1 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 |

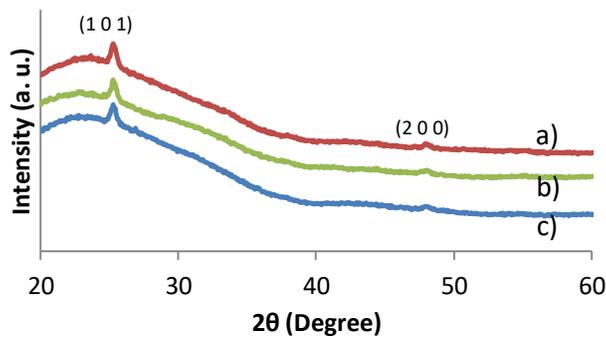
Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

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:

$$P = \frac{[V_V - P_V]^{1/2}}{V_O - P^{Uh}} + \frac{3}{4} \left[\frac{(P^{VL})}{(P_u)} \right] \rightarrow \int_{V^{La}}^{J_a} \quad (1)$$

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

REYES-VILLAO, Angélica. 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. Moralarzal –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.

