



# Ingeniantes

Año 6, No. 1, Vol. 1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452



#### Temáticas

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

# Ingeniantes

Año 6 / No. 1 / Vol. 1

## Información Legal

**Ingeniantes**, año 6, No. 1, Vol 1. noviembre 2018 - mayo 2019, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web [citt.itsm.edu.mx](http://citt.itsm.edu.mx). Editor responsable: M.I.I Erika Adrienne Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 21 de junio de 2019.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

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

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

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

mayo 2019

## Directorio

**M.C. José Roberto Arenas Martínez**  
Director General, ITSM, Veracruz, México

**M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán**  
Subdirectora Académica, ITSM, Veracruz, México

**M.A. José Edgar Soto Meneses**  
Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

**C.P. Honorato Pérez Antonio**  
Subdirector de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

**Lic. Lidia Herrera Domínguez**  
Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

**Dr. Carlos Yossio Nakase Rodríguez**  
Subdirector del Sistema Abierto, ITSM, Veracruz, México

## Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González, ITSM, México  
Ing. Mayra Lizzeth Mendez Oloarte, ITSM, México

## Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología  
Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

## Distribución

Publicación electrónica disponible en  
[citt.itsm.edu.mx/ingeniantes](http://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes)  
Correo electrónico: [revista.ingeniantes@itsm.edu.mx](mailto:revista.ingeniantes@itsm.edu.mx)  
<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=25671>

## Cuerpo Editorial

Editor General  
**M.C. José Roberto Arenas Martínez**  
Instituto Tecnológico Superior de Misantla  
Editor  
M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

## Comité Científico

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US SNI  
Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN  
Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH SNI  
Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH  
Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT  
Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT  
Dr. José Luis Marín Muñoz, CV  
Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ  
Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ  
Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ  
Dr. Abel García Barrientos, UASLP  
Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET  
Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET SNI  
Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET  
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET  
Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA  
Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON  
Dr. Juan Carlos Gonzalez Hernández, ITM  
Dr. Marco Tulio Gallo Estrada, UACH SNI  
Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNa  
Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP  
Dr. David Lara Alabazares, ITSM SNI  
Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM SNI  
Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM  
Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM  
Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM  
Dr. Luis Mejía Macario, ITSM  
Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM  
DR. Saul Santiago Cruz, ITSM  
M.I.A. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM  
M.I.A. Luis Enrique García Santamaría, ITSM  
M.S.C. Irahán Otoniel José Guzmán, ITSM  
M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM  
M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM  
M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI  
M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM  
M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR  
M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR

# Ingeniantes



03



09



17



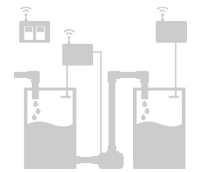
23



31



40



50

## Contenido

Integración de la sustentabilidad en la gestión empresarial dentro del municipio de Huatusco, Veracruz \_\_\_\_\_ 03

Salvador Partida Sedas; Silvia Sósol Sánchez; José de Jesús González Reséndiz; Dulce María Flores Báez; Adán Cabal Prieto, TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

Estudio de percepciones y preferencias de consumidores universitarios por alimentos funcionales: el caso del queso fresco \_\_\_\_\_ 09

Iliana Enriqueta Montaña Méndez, Instituto Tecnológico Superior de Mulegé; Noé Redona Arce, Universidad Autónoma de Baja California; Francisco Javier Mesías Díaz, Universidad de Extremadura, España

Percepción de visitantes sobre la salud del hábitat UMA Jaguaroundi \_\_\_\_\_ 17

Esther Mariela Arzate Escamilla; José Alfonso Sánchez Gómez, Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas; Eduardo Márquez Canosa, Universidad Europea de Energía y Medio Ambiente-UEMA, Valladolid, España;

Optimización del proceso (papa frita): Productos Industrializados del Occidente, S.A. de C.V. \_\_\_\_\_ 23

Francelin Dimas Díaz; María Guadalupe Santillán Valdelamar; Sergio Serrano González, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

Análisis y modelado de un eje de una máquina cortadora de placas de mármol \_\_\_\_\_ 31

Pedro Cruz Ortega, Adolfo Manuel Morales Tassinari; Marcos Manuel Azcaray Rivera, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

Análisis comparativo de estimación de altura para operación en espacios interiores de un Cuadricóptero \_\_\_\_\_ 40

José Miguel Hernández Paredes; Sergio Quintanar García; Benigno Muñoz Barrón, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan; Silvione Medécigo Vité, DEVICES R&D S. A. de C. V

Desarrollo de prototipo SCADA para controlar el nivel de agua en dos contenedores de agua \_\_\_\_\_ 50

Hugo Rojas Salgado; Eloy Cadena Mendoza; Juan Miguel Hernández Bravo; José Antonio Montero Valverde, Instituto Tecnológico de Acapulco



58



64



72



78



85



93

Evaluación de Puntos Críticos Aplicado al Proceso de Empaque de Lima Persa. \_\_\_\_\_ 58

Rosalía Aguirre Solano; Priscila González Rosales, Tecnológico Superiores de Misantla

Vehículos impulsados con residuos: un análisis del gas natural renovable como estrategia climática en México \_\_\_\_\_ 64

Edgar Roberto Sandoval García, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Sistema electrónico de análisis de posicionamiento y monitoreo en pasajeros en el transporte público mediante GPS \_\_\_\_\_ 72

Dulce María León De la O; Víctor Manuel Arias Peregrino; Arcely Aquino Ruiz; Carlos Raúl Muñoz Rodríguez, Instituto Tecnológico de Villahermosa

Artificial intelligence techniques in handover decision: a brief review \_\_\_\_\_ 78

Josué Vicente Cervantes Bazán; Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca / UAEM; Alma Delia Cuevas Rasgado; Saúl Lazcano Salas; Farid García Lamont, Universidad Autónoma del Estado de México, Jesús Cerquides Bueno, Universidad Autónoma de Barcelona

Cuantificación y evaluación de la calidad de pectina extraída de cáscaras en tres variedades de mango (Mangifera indica L.) de la región mixteca baja poblana \_\_\_\_\_ 85

López-Aranda Erika; Pacheco-Contreras Víctor Inocencio; Escamilla-Ramírez Rosalinda; Romero-Cruz Anabel, Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio

Desarrollo y Teleoperación de un Robot Móvil para la navegación y asistencia en espacios cerrados \_\_\_\_\_ 93

Hernández-Paredes José Miguel; Escobedo-Cabello Jesús Arturo; Muñoz Barrón Benigno; Serna Hernández Luis Felipe, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan



# Calidad

y

# Sistemas de Manufactura

---

# Ingeniantes

# Integración de la sustentabilidad en la gestión empresarial dentro del municipio de Huatusco, Veracruz



## Colaboración

Salvador Partida Sedas; Silvia Sósol Sánchez; José de Jesús González Reséndiz; Dulce María Flores Báez; Adán Cabal Prieto, TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

**RESUMEN:** La medición del nivel de desempeño y grado de éxito de una empresa se puede abordar desde diferentes perspectivas, quizá el indicador utilizado con mayor frecuencia es la rentabilidad financiera de los negocios, si esta obtiene buenos dividendos económicos, se dice que es una empresa exitosa. Sin embargo, todas las actividades empresariales tienen un impacto negativo en el medio que nos rodea y en este sentido, la adopción de los principios del desarrollo sustentable por parte de las empresas, permitiría establecer acciones para que el uso de los recursos naturales sea optimizado y puedan disponerse en las mejores condiciones para las futuras generaciones.

La presente investigación tiene como objetivo medir el grado de adopción de los principios de la sustentabilidad en las diferentes micro, pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Huatusco y plantear un esquema de trabajo futuro para mejora de sus prácticas empresariales.

**PALABRAS CLAVE:** Gestión Empresarial, Responsabilidad Social, Sustentabilidad.

**ABSTRACT:** *The measurement of the level of performance and degree of success of a company can be approached from different perspectives, perhaps the most commonly used indicator is the financial profitability of the businesses, if this one obtains good economic dividends, it is said to be a successful company. However, all business activities have a negative impact on the environment that surrounds us and in this sense, the adoption of the principles of sustainable development by companies, would allow to establish actions for the use of natural resources to be optimized and can be arranged in the best conditions for our successors. The objective of this research is to measure the degree of adoption of the principles of sustainability in the different micro, small and medium enterprises of the city of Huatusco and to propose a scheme of future work to improve their business practices.*

**KEYWORDS:** *Business Management, Social Responsibility, Sustainability.*

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Ley General del Ambiente y los Recursos Naturales (Ley No. 217), la operatividad empresarial lleva implícito en el procesamiento de bienes y recursos naturales, un efecto adverso hacia el medio ambiente y por lo general, sus consecuencias no son atendidas correctamente [1]. En la medida que los seres humanos se organizan en grupos e intercambian bienes entre sí, surge propiamente la actividad económica y esta se realiza no ya para satisfacer sus propias necesidades, sino también para el intercambio, por lo cual el empleo de recursos del medio natural y la generación de residuos se incrementan [2]. De acuerdo con [3], el desarrollo económico ha conducido a que el planeta atraviese una crisis energética y ambiental insostenible y está llevándolo a escenarios catastróficos. Nuestro futuro común puede verse amenazado si continuamos con el estilo de desarrollo que vivimos, donde se prioriza el crecimiento económico basado

principalmente en el uso de los recursos naturales de manera poco racional.

Lo anterior confirma lo dicho por [4], quien establece que podemos considerar los problemas ambientales como aquellos aspectos de la relación entre la sociedad y la naturaleza que generan, directa o indirectamente, consecuencias negativas sobre la salud de la población presente y/o futura y sus actividades sociales. Desde el comunismo primitivo hasta el capitalismo postindustrial: jamás se pensó la posibilidad de que la acción del hombre pusiera en peligro su propia existencia [5].

Para tal efecto, se plantea el presente proyecto que tiene como objetivo investigar el grado de adopción de los principios de sustentabilidad en las diferentes micro, pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Huatusco y plantear un esquema de trabajo futuro para mejora de su desempeño.

### Problema de Investigación

Los desafíos y problemáticas de nuestra realidad actual: inseguridad, salud pública, migración, reparto inequitativo de la riqueza, mala educación, pérdida de valores, cambio climático, pobreza y contaminación entre otros, requieren de entes activos que contribuyan con la resolución o combate a estos grandes males que nos aquejan.

Nadie puede ser ajeno y cerrar los ojos a la situación que vivimos diariamente, las empresas y los emprendedores, pueden aportar ideas, mano de obra y recursos valiosos para ayudar a resolver este tipo de problemas. Todo lo que se realice el día de hoy, tendrá un impacto negativo o positivo sobre el medio que nos rodea y en este sentido, el desarrollo sustentable indica que cualquier recurso que vayamos a utilizar sea optimizado de la mejor forma posible y pueda estar disponible en las mejores condiciones para nuestros sucesores.

### Principios del desarrollo sustentable, sustentabilidad y su aplicación en la gestión Empresarial

El desarrollo sustentable es un planteamiento establecido formalmente en el año 1987, en el cual, se busca que todas las acciones y actividades desarrolladas por parte de la sociedad, vayan encaminadas en el aseguramiento de igual o mejores condiciones de vida para las generaciones futuras [6]. Tal idea se presentó oficialmente en Oslo, Noruega; en el Informe Brundtland "Our common future" por parte de la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente, integrada por un grupo de personalidades del ámbito científico, político y social, representativo de los diversos intereses existentes en la comunidad internacional quienes hicieron popular la frase "desarrollo sustentable", definiéndolo como "aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la habilidad de las futuras para satisfacer sus propias necesidades" [7].

El origen del desarrollo sostenible está asociado a una preocupación creciente que existe en la comunidad internacional de las últimas décadas del siglo XX quienes afirman que existe un vínculo entre el desarrollo económico y social y sus efectos más o menos inmediatos sobre el medio natural [2].

Para [8] "sustentabilidad es la habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas", lo que esencialmente se busca a partir de la sustentabilidad es avanzar hacia una relación diferente entre economía, ambiente y sociedad. No busca frenar el progreso ni volver a estados primitivos, todo lo contrario, busca fomentar un progreso, pero desde un enfoque diferente y más amplio, y ahí es donde reside el verdadero desafío.

Los principios del desarrollo sustentable y la responsabilidad social empresarial (RSE) surgen como una nueva forma de hacer negocios, enmarcada en la sustentabilidad económica, social y ecológica [9]; por otra parte [10] menciona que las empresas se deben integrar voluntariamente a una actuación socialmente responsable, desarrollando técnicas sustentables en la producción y el uso de los recursos naturales, con el objetivo de contribuir a un desarrollo social, ambiental sustentable y económicamente viable [11].

En este sentido, la comisión económica europea, resalta la importancia de la RSE al considerarla como potencial innovador para el desarrollo sostenible de las empresas porque favorece la competitividad, fomenta la creación de empleos, coadyuva en su mejora económica y permanencia en el mercado, además de convertirse en un factor fundamental al tratar de mejorar su imagen externa ante clientes y proveedores, fortaleciendo de esta manera su imagen frente a la competencia [12]. Las prácticas propuestas en los principios de la RSE forman parte del moderno "management" empresarial con estrategias organizacionales, no sólo en producción y organización, sino también en las relaciones con sus proveedores y clientes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología

Este estudio se realizó a partir de una encuesta aplicada a 60 empresas localizadas en la zona urbana del municipio de Huatusco, Veracruz. El sondeo realizado es del tipo cuantitativo descriptivo, no experimental y transversal. Mediante la ecuación 1 se estimó la muestra con un nivel de confianza de 95% y un p-valor del 5%, considerando una población de 71 empresas situadas en el centro de la ciudad:

$$n = \frac{Nz_c^2pq}{e^2(N-1) + z_c^2pq} \quad \text{Ec. (1)}$$



El instrumento de medición consideró los siguientes constructos: el grado de adopción de prácticas y principios sustentables por parte de las micro, pequeñas y medianas empresas de acuerdo con cada una de las dimensiones de la sustentabilidad (ambiental, social y económica).

La herramienta de medición se aplicó durante el periodo comprendido entre enero y febrero de 2019 la cual fue dirigida a propietarios o encargados de las empresas, de los cuales se obtuvo información sobre el proceso de adopción de los principios de la sustentabilidad en la gestión empresarial, en tres fases:

- Diseño y validación del instrumento de medición. Dicho instrumento se constituyó de 10 ítems.
- Aplicación del instrumento de medición.
- Resultados y conclusiones

**Sitio de estudio**

La investigación se realizó en el municipio de Huatusco, éste se encuentra localizado en la zona centro - occidental del estado de Veracruz, México; entre las coordenadas 97° 04' - 96° 41' Longitud Oeste y 19° 04' - 19° 13' Latitud Norte (Figura 1), posee una superficie total de 202 Km2 con una altitud entre 400 y 2,000 msnm; su temperatura media anual es de 19.5° y posee una precipitación promedio de 1,941.7 mm [13]. Se caracteriza por una vocación agrícola (53.9% agricultura y 23.5% pastizal cultivado) y representa el principal centro comercial y económico de la región de las altas montañas del centro del estado de Veracruz, colinda al norte con el estado de Puebla y los municipios de Tlaltetela, Totutla, Sochiapa y Comapa; al este con los municipios de Comapa y Zentla; al sur con los municipios de Zentla, Tepatlaxco, Ixhuatlán del café y Coscomatepec; al oeste con el municipio de Coscomatepec y el estado de Puebla [14].

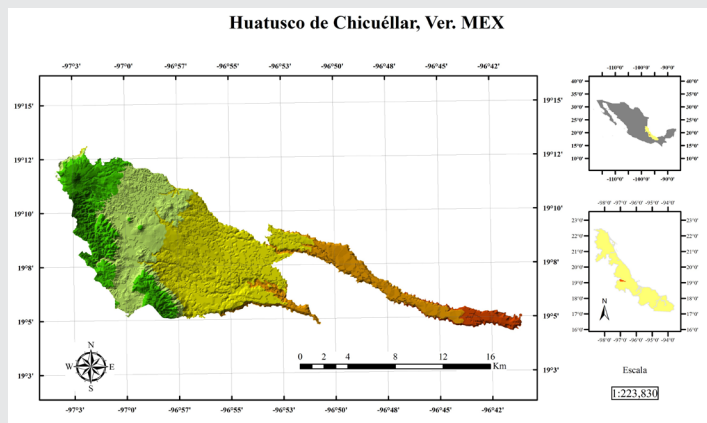


Figura 1. Localización del Municipio de Huatusco, Ver. MEX. (Fuente de Elaboración propia)

**RESULTADOS**

En relación al giro de la empresa, el 77% se dedican a actividades de comercio, el 22% a los servicios y solamente el 1% corresponden al área industrial (Figura 2).

Del total de empresas encuestadas, un 85% son empresas cuyo número de empleados oscila entre uno y diez, el 13% entre once y cuarenta y nueve empleados y solo una empresa con más de cincuenta empleados.

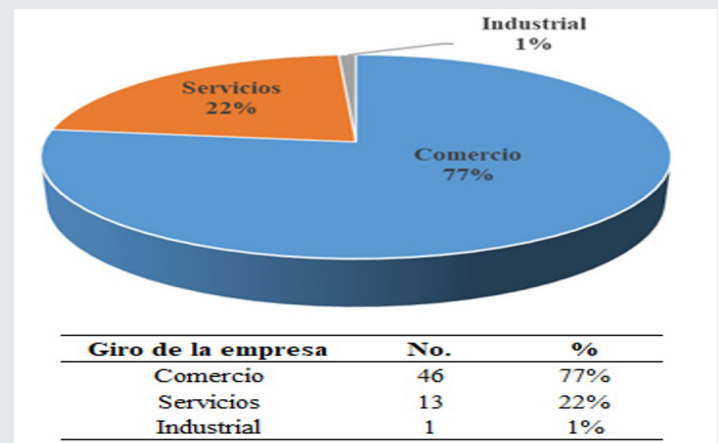


Figura 2. Tipo de empresas encuestadas

**Dimensión Social**

En relación a la dimensión social de la sustentabilidad, se evaluó su compromiso social en dos vertientes, una concerniente con su planta laboral y otra con las acciones realizadas en la comunidad donde se encuentra establecida, agrupados en nueve indicadores, los cuales se presentan en las tablas 1 y 2:

**a) Con respecto a su planta laboral**

Tabla 1. Indicadores sociales en términos de su planta laboral

Aspecto Social	No.	%
Bienestar y satisfacción a sus empleados	43	71.7%
Procurar la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres	50	83.3%
Ofrecer un marco de flexibilidad laboral	38	63.3%
Brindar condiciones que no afecten la salud y seguridad de los trabajadores	41	68.3%
Fomentar la formación y el desarrollo profesional	24	40.0%
Otorgar programas de apoyo con prestaciones y considerar procesos de consulta y participación de todo el personal involucrado en el desarrollo de la empresa.	19	31.7%

b) Con respecto a la comunidad en la que la empresa se encuentra localizada.

Tabla 2. Indicadores sociales en términos de su vinculación con la comunidad

Aspecto Social	No.	%
Participación en programas de buena vecindad	1	1.7%
Apoyo a la educación local	6	10.0%
Voluntariado y donaciones	24	40.0%

### Dimensión Ambiental

En la dimensión ambiental, el 70% de las empresas encuestadas si conocen el impacto de sus actividades sobre el medio ambiente y solo veintisiete de las empresas llevan un registro de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos emitidos a la atmósfera. En la siguiente tabla, se presentan seis indicadores ambientales considerados en esta dimensión:

Tabla 3. Indicadores ambientales evaluados

Aspecto Ambiental	No.	%
Gestión de residuos (manejo responsable)	35	58.3%
Envases y embalajes no contaminantes	21	35.0%
Reciclaje de desechos (Entrega o manejo propio)	36	60.0%
Consumo responsable de energía (Equipo ahorrador)	46	76.7%
Transporte ecológico de mercancías	15	25.0%
Reducción de emisiones a la atmósfera	32	53.3%

### Dimensión Económica

Se evaluaron cuatro indicadores económicos dentro de esta dimensión de la sustentabilidad, el 92% de las empresas encuestadas expresa que contribuyen con el bienestar económico de sus trabajadores y de la sociedad, en la tabla 4 se indican los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores evaluados:

Tabla 4. Indicadores económicos evaluados

Aspecto Económico	No.	%
Derechos de los consumidores	35	58.3%
Política de precios justos	53	88.3%
Otorga información transparente de su actividad	47	78.3%
Responsabilidad hacia sus proveedores	33	55.0%

### Discusión

Los resultados demuestran áreas de oportunidad en cada una de las dimensiones de la sustentabilidad y la responsabilidad social empresarial; estas, deben ser atendidas por la gran mayoría de las empresas. En el aspecto social, se debe poner especial atención a los indicadores relacionados con el fomento a la formación y el desarrollo profesional, al apoyo con prestaciones y al hecho de considerar procesos de consulta y participación de todo el personal involucrado en el desarrollo de la empresa; además, es necesaria su vinculación con la vida de la comunidad en la cual se desempeña, ya que los tres indicadores muestran una relación mínima, casi nula.

De acuerdo con [15], en el ámbito laboral, la empresa debe contemplar el bienestar y satisfacción de sus empleados; procurar la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres; ofrecer un marco de flexibilidad laboral; brindar condiciones que no afecten la salud y seguridad de los trabajadores; fomentar la formación y el desarrollo profesional. Con respecto a la comunidad en la que la empresa se encuentra localizada; el desempeño de la responsabilidad social trata de responder a las necesidades que la comunidad demanda con programas de buena vecindad, apoyo a la educación local, voluntariado y donaciones.

En términos de la dimensión ambiental, si bien existe conciencia del efecto de sus desechos, deben mejorar su eficiencia de manejo e incrementar el reciclaje de los mismos, es importante poner especial atención en los indicadores relacionados con el manejo de envases y embalajes no contaminantes, uso de transporte ecológico de mercancías y la reducción de emisiones a la atmósfera. Por su parte los indicadores de la dimensión económica son los que muestran un mejor nivel de desempeño.

La iniciativa de creación de una ESR comienza por la conciencia del hombre, para después tomar en cuenta las necesidades de los demás, y poder así emprender un proyecto sustentable económico y social respetando el medio ambiente y aprovechando la sinergia generada en beneficio de los individuos, las sociedades y la naturaleza, como lo propone la sustentabilidad integral [16].

### CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que las empresas pueden influir en el cuidado del medio ambiente, con responsabilidad social sí van más allá del cumplimiento de la legislación vigente. En este sentido, la RSE y el desarrollo sustentable puede aportar beneficios directos y garantizar la competitividad a largo plazo de la empresa. El buen nombre o comentarios acertados para quienes dirigen estos esfuerzos, trascienden a niveles inter y transpersonales y es a partir de este momento, donde, la calidad moral

y el compromiso de ser mejores se convierte en una forma de vida.

El esfuerzo realizado para llegar a consolidar una organización, permite a sus dueños visualizar su entorno y buscar alternativas que les permita posicionarse entre los mejores a cualquier nivel territorial. Cuando se llega a un punto de dominancia local, regional, estatal o nacional, los empresarios buscarán nuevos desafíos para seguir contando con el reconocimiento y elegirán entre las mejores prácticas, aquellas que puedan adaptarse en su entorno y les reditúen mejores dividendos.

En síntesis, de acuerdo con lo investigado, las empresas deben poner énfasis a los siguientes aspectos:

- Gestión de residuos
- Características de los envases y embalajes
- Reciclaje de sus desechos
- Transporte de mercancías y consumo responsable de energía
- Beneficios sociales.

Los resultados hacen evidente el diseño de un modelo de gestión basado en los principios del desarrollo sustentable y las empresas socialmente responsables, dicho modelo de gestión les permitiría una transición hacia iniciativas que brinden reconocimiento no solo por los resultados económicos, si no, por su voluntad para con la mejora de las condiciones de vida en nuestra sociedad.

Así, existen sellos o distintivos como ESR (Empresa Socialmente Responsable), ECOCE (Empresa Comprometida con el medio ambiente), RAINFOREST (Empresa comprometida con los Bosques), certificación orgánica, en los cuales las empresas han decidido adoptar sus iniciativas para ser reconocidas como organizaciones comprometidas con el desarrollo sustentable.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] O. d. I. N. unidas, «CEPAL,» *Ley General del Ambiente y los Recursos Naturales*, 3 6 2010. [En línea]. Available: <https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-general-ambiente-recursos-naturales-ley-no-217>. [Último acceso: 02 03 2019].

[2] Gómez Gutiérrez, C. (2015). *El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación*. La Habana, Cuba. Recuperado el 10 de Julio de 2017, de <http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>. [Último acceso: 02 03 2019].

[3] Carinetti B. (2013). *Introducción al desarrollo sustentable*. Universidad Nacional Arturo Jauretche (112).

[4] Aguirre-Mejía, P. (2015). *Sustentabilidad*. Göttingen: Cuvillier, (25)

[5] Covarrubias Villa, F., Ojeda Sampson, A. Cruz Navarro, M. G. (2011). *La sustentabilidad como sustentabilidad del régimen capitalista*. *Ciencia Ergo sum*, 18(1), 95-101. Recuperado el 11 de 07 de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/104/10416528010.pdf>. [Último acceso: 02 03 2019].

[6] Gómez, J. L. «Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental,» *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, vol. 22, pp. 115-136, 2014.

[7] Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future*. Oslo: Organización de las Naciones Unidas.

[8] Calvente, R. (2007). *Concepto moderno de sustentabilidad*. *Sociología y desarrollo sustentable*, 1-7.

[9] Romo-Jiménez, A. M. (2016). *Responsabilidad Social Empresarial y su evolución en México*. 5o Congreso Nacional de Ciencias Sociales (págs. 1-24). Guadalajara: CUCSH-UDG.

[10] Welford, R. (2002). *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. Editorial, *Globalization, Corporate Social Responsibility and Human Rights*, 1-9. doi:10.1

[11] Lafuente, A., Pueyo, V. V., & Llaría, R. J. (2003). *Responsabilidad Social Corporativa y Políticas Públicas*. Laboratorio de alternativas, 5.

[12] Solís-G., J. (2008). *Responsabilidad social empresarial: un enfoque alternativo*. *Análisis Económico*, XXIII(53 ).

[13] CICESE. (2013). *Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN con gráficas del CICESE*. Recuperado el 14 de noviembre de 2013, de base de datos climatológica nacional (sistema clicom): <http://clicom-mex.cicese.mx/>

[14] INEGI. (2013). *Compendio de información Geográfica Municipal 2010 - Huatusco*. Aguascalientes, Ags. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

[15] González-Rodríguez, C. (2011). *Empresas Socialmente Responsables y Mercado Verde Internacional*. *Economía Informa*, 59-79.

[16] C. G. Rodríguez, «Empresas Socialmente Responsables,» *Economía Informa*, n° 366, pp. 59-60, *Economía Informa*.

## Agradecimientos

Se agradece a la academia y alumnos de la División de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.



# Calidad

y

# Sistemas de Manufactura

---

# Ingeniantes

# Estudio de percepciones y preferencias de consumidores universitarios por alimentos funcionales: el caso del queso fresco

**RESUMEN:** Los objetivos de este estudio fueron determinar la percepción de los jóvenes universitarios sobre los alimentos funcionales respecto a los convencionales y conocer las preferencias por el queso fresco como una alternativa potencial de alimento funcional e identificar nichos de mercados para la industria láctea en México. La hipótesis fue que el bajo consumo de alimentos funcionales se debe a la falta de información o conocimiento con respecto a los productos convencionales. Se utilizaron técnicas de asociación de ideas, análisis conjunto y análisis clúster. Un cuestionario se aplicó a 179 estudiantes universitarios del Instituto Tecnológico Superior de Mulegú, en Santa Rosalía, Baja California Sur, México, utilizando el método de muestreo aleatorio estratificado mediante la herramienta de Google Forms. Existe un desconocimiento significativo y tienden a identificarlos mayormente con productos lácteos y frutas y verduras. El interés por el queso fresco como un posible alimento funcional y un nicho nuevo de mercado se identificaron, junto con la posibilidad del diseño, creación y desarrollo de productos como oportunidad de negocio para la industria de los lácteos en México. El análisis clúster permitió identificar grupos de consumidores "pro-funcionales", que serían el mercado potencial para acciones destinadas a comercializar este tipo de producto.

**PALABRAS CLAVE:** preferencias del consumidor, análisis conjunto, análisis clúster, consumo.



## Colaboración

Iliana Enriqueta Montaña Méndez, Instituto Tecnológico Superior de Mulegú; Noé Redona Arce, Universidad Autónoma de Baja California; Francisco Javier Mesías Díaz, Universidad de Extremadura, España

**ABSTRACT:** This document will follow some fundamental objectives. On one side will determine the views of young university towards functional foods versus the conversational or others, to learn the preference for fresh cheese as a potential alternative of functional foods with the purpose of identifying a possible market niche for the dairy industry in Mexico. The techniques used were association of ideas, conjoint analysis and cluster analysis were used. A survey was given to 179 students in Santa Rosalía, Baja California Sur, México, using the Google Forms tool. There is a significant ignorance, and tend to identify them mostly with dairy products and fruits and vegetables. However, there is a considerable interest towards fresh cheese as a functional food, this identifies a new market niche and with that the possibility of a design, creation and development of a new product like a business alternative for the dairy sector in Mexico. Finally, the cluster analysis has made it possible to identify several "pro-functional" consumer groups, which would be the potential objectives of actions aimed at promoting this type of product.

**KEY WORDS:** consumer preferences, conjoint analysis, cluster analysis, consumption.

## INTRODUCCIÓN

Las tendencias de consumo en el mundo las regulan parcialmente los estilos de vida de los humanos [1]. Destaca el interés por ciertos alimentos que, además de aportar nutrientes al organismo, contribuyan a mejorar la fisiología de los humanos o a prevenir enfermedades, como hipertensión, colesterolemia y diabetes [2]. En respuesta a la necesidad de mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades, se introdujo el nuevo concepto de alimento funcional que inicia en Japón en los años 80's [3].

El término alimento funcional hace énfasis en los ingredientes de los alimentos procesados que aportan beneficios a la salud más allá del contenido nutricional [4]. El mercado de alimentos funcionales ha aumentado y en el año 2014 representaron el 45% de las ventas totales de alimentos en general [5]. Una de las actividades más importantes de la industria alimentaria en México, es la industria de productos lácteos [6]. Entre 2006 y 2015, la producción industrial de leche y derivados lácteos registró un comportamiento favorable [7]. En México, se producen alrededor de 38 tipos de quesos de los cuales, poco más del 80% se clasifican como quesos frescos [8], cuyas características nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales difieren entre cada tipo [9]. La tasa de crecimiento promedio de producción de quesos es 2,31% y el consumo per cápita de 2,13 kg en México y contrasta con el de España de 8,93 kg per cápita, Grecia y Francia con un consumo mayor a los 20 kg per cápita [10].

En este contexto de demanda creciente sobre productos lácteos y sobre todo por alimentos funcionales a nivel global, pero con un desarrollo incipiente en México, se plantea la necesidad de comprender cómo los consumidores mexicanos perciben los alimentos funcionales y, a su vez, definir sus preferencias hacia este tipo de alimentos. El estudio se centró en los consumidores más jóvenes ya que estos pueden ser los consumidores prospectivos de este tipo de producto. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar la percepción de los jóvenes universitarios sobre los alimentos funcionales respecto a los convencionales y conocer las preferencias por el queso fresco como una alternativa potencial de alimento funcional que permita identificar nichos de mercados para la industria láctea en México. La hipótesis es que el bajo consumo de alimentos funcionales se debe a la falta de información con respecto a los productos convencionales.

La novedad del tema hace necesario usar un enfoque metodológico diverso, combinando las técnicas cualitativas de asociación de ideas, que podían permitir a los encuestados una expresión más libre y desestructurada de sus opiniones y puntos de vista con el análisis conjunto para el estudio de las preferencias. El análisis conjunto es una técnica multivariante que permite la cuantificación de la importancia que dan los consumidores a los distintos atributos que conforman un producto, identificando también si los distintos niveles de dichos atributos generan (o disminuyen) utilidad para el consumidor, aspecto especialmente relevante para el desarrollo de acciones de mercadotecnia posteriores.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos se obtuvieron mediante una encuesta en línea utilizando Google Docs ([www.docs.google.com](http://www.docs.google.com)).

El cuestionario incluía seis preguntas abiertas y 33 preguntas cerradas, estructuradas en cuatro secciones: nivel de conocimiento, preferencias de consumo, perfil sociodemográfico y estilo de vida.

En este trabajo se seleccionó como muestra a estudiantes universitarios del Instituto Tecnológico Superior de Mulegé en Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Para la obtención de los datos se obtuvo una muestra de 179 estudiantes de diferentes carreras mediante un muestreo aleatorio estratificado. De ellos 63,7% fue mujeres. Las edades predominantes de los encuestados fueron entre 18 y 19 años (44,7%) y 20 y 21 años (44,1%). El tamaño familiar es 3 a 4 personas (54,2%). Ingreso mensual familiar es menor a \$4,000.00 (41,3%) y de \$4,001.00 a \$8,000.00 (38%). Los datos fueron tomados en octubre de 2016.

La novedad del tema hace necesario usar un enfoque metodológico diverso, combinando las técnicas cualitativas de asociación de ideas, que podían permitir a los encuestados una expresión más libre y desestructurada de sus opiniones y puntos de vista con el análisis conjunto para el estudio de las preferencias. El análisis conjunto es una técnica multivariante que permite la cuantificación de la importancia que dan los consumidores a los distintos atributos que conforman un producto, identificando también si los distintos niveles de dichos atributos generan (o disminuyen) utilidad para el consumidor, aspecto especialmente relevante para el desarrollo de acciones de mercadotecnia posteriores.

## Asociación de palabras

La aplicación del método de asociación de palabras ayuda al encuestador a unificar un conjunto de criterios o percepciones que el encuestado hace sobre algún término en específico.

Para el estudio de las preguntas que implican un análisis cualitativo, se realizó un análisis detallado de cada una de las respuestas que libremente expresaron los participantes. Posteriormente, se aplicó el método de asociación de palabras, y se realizó una selección de palabras que guardaran características similares.

Aunque este procedimiento viola la suposición de independencia entre las diferentes asociaciones (hasta tres asociaciones procedentes del mismo individuo pueden ocurrir), esta violación no se consideró en el presente enfoque exploratorio-cualitativo [11].

Las clasificaciones se consideraron de acuerdo con el nivel de incidencias de los términos que asociaron los encuestados con los alimentos funcionales.

**Análisis conjunto**

Para determinar las preferencias hacia el queso fresco como hipotético alimento funcional (se indicaba en el cuestionario que ello implicaría enriquecer el queso fresco tradicional con distintas sustancias), se utilizó la técnica del análisis de conjunto. Este análisis está basado en cuatro hipótesis: 1) un producto puede ser descrito por un conjunto de atributos, que asumen ciertos valores; 2) versiones alternativas del mismo producto están definidas por distintos valores de los atributos; 3) la evaluación de un producto por el consumidor, es función del valor de los propios atributos y; 4) el consumidor, a la hora de comprar, evalúa la utilidad de cada combinación y su elección refleja la priorización entre distintas combinaciones de los atributos. Así, el producto ideal para el consumidor se obtendría a partir de la combinación de los niveles de los atributos que le proporcionan mayor utilidad [12].

La estimación del modelo de preferencias se divide en estas etapas: identificación y selección de los atributos relevantes, definición de niveles para cada atributo, recolección de datos y selección del método para obtener el valor de utilidad. Primero se debe especificar si se usará un modelo aditivo o interactivo, así como las relaciones entre los componentes parciales de la utilidad total [13]. Los atributos y niveles deben ser sobresalientes en la influencia de las preferencias y elección del consumidor [14].

La identificación y selección de los atributos más convenientes para el estudio y los niveles correspondientes se efectuó así:

1) Una serie de atributos se identificaron mediante una revisión de investigaciones sobre preferencias de consumidores hacia productos lácteos y funcionales [13], [15], [16], [17], [18].

Tabla 1. Atributos y niveles determinados para el estudio

Enriquecido	Enriquecido
	No enriquecido
Presentación	Envasado 500 g
	Al corte
Tipo de Leche	Vaca
	Cabra
Precio	45 pesos mexicanos/500 g
	55 pesos mexicano/500 g
	65 pesos mexicano/500 g

Fuente: Elaboración propia

2) El equipo investigador valoró los atributos con base en investigaciones preliminares y los objetivos del estudio.

3) Los atributos más valorados y sus niveles (tabla 1) se presentaron a profesionales, quienes eligieron los cuatro más significativos en la decisión de compra de productos lácteos, y que fijó también los niveles definitivos.

Otro aspecto que se debe definir es la regla de composición utilizada, que puede ser aditiva o interactiva. En el modelo aditivo se asume que el encuestado adiciona las utilidades de las combinaciones de niveles de atributos para obtener una utilidad total. Con un modelo interactivo se consideran las interacciones, es decir, la influencia de combinaciones de atributos que pueden hacer que la utilidad total sea mayor o menor que la suma de las utilidades (part-worths) individuales [12].

La regla de composición adoptada en este estudio es la aditiva, sin considerar interacción alguna, ya que es la más empleada [19], [20]. Además, este modelo tiene en cuenta la mayoría (hasta 80% o 90%) de la variación de la preferencia en casi todos los casos [21], y es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Por lo tanto, supone que la elección del comprador es estimulada por la suma total de las puntuaciones individuales de cada atributo que conforma al producto en elección.

Para m atributos seleccionados, cada uno de ellos con k niveles distintos, el modelo aditivo de análisis de conjunto básico es el siguiente [14]:

$$U(X) = \sum \sum \alpha_{ij} X_{ij} \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, k \quad \text{Ec (1)}$$

Donde U(X) es la utilidad general de una alternativa y la utilidad total es suma de la utilidad indicada por cada atributo, X<sub>ij</sub> es los atributos que la definen, α<sub>ij</sub> mide la utilidad parcial de cada uno de los atributos considerados [22].

Por lo tanto, al obtener la utilidad se puede calcular la importancia relativa de cada atributo:

$$I_i = \{ \text{Máx}(a_{ij}) - \text{Mín}(a_{ij}) \} \quad \text{Ec (2)}$$

La importancia relativa de cada atributo se pondera de acuerdo con la importancia relativa de los demás atributos. El tratamiento y análisis estadístico de la información se realizó con SPSS, v.21.0.

**Análisis clúster o de conglomerados**

El análisis clúster o de conglomerados se aplicó para determinar grupos de consumidores con características similares con respecto a la preferencia del producto estudiado. Los insumos del análisis fueron las funciones de utilidad individuales generadas por el análisis conjunto.

Se realizó un clúster jerárquico para determinar el número de agrupaciones y se aplicó el método de Ward y Centroide. Posteriormente, se realizó el análisis de segmentación no jerárquicos con tres y cuatro grupos para decidir cuál se ajustaba mejor. Al final, una solución de cuatro clústeres fue la más significativa, tanto por el tamaño de los segmentos como por la mayor significación estadística [13].

Un ANDEVA mostró que todos los segmentos diferían significativamente ( $p \leq 0,01$ ) unos de otros con respecto a las variables usadas como insumos para la segmentación, lo que justifica su inclusión. Los cálculos se desarrollaron con el módulo "Clúster" de SPSS, v.21.0., los procedimientos de análisis jerárquico y de análisis de k-medias.

## RESULTADOS

La primera sección del cuestionario permitió obtener una visión del grado de conocimiento de los jóvenes hacia el concepto de alimentos funcionales, para lo que se preguntó si "sabe lo que es un alimento funcional". El 83% de los encuestados considera no saber qué es un alimento funcional y poco más del 17% de los consumidores consideran saber.

A quienes contestaron sí en la pregunta anterior se les pidió definir el término con sus propias palabras. Posteriormente, se realizó una clasificación de cada uno de los términos que los encuestados asociaron con los productos funcionales. Las categorías identificadas en la asociación de palabras con alimentos funcionales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Categorías identificadas en asociación de palabras para el término alimentos funcionales

Categoría	Ejemplo	Frecuencia
Productos lácteos	Leche, yogur; queso;	43,6%
Frutas y verduras	Alimentos de la categoría de frutas y verduras	25,1%
Productos de primera necesidad	Huevos, pan integral	14,0%
Aceites vegetales	Aceite de oliva	10,6%
Bebidas con aporte energético/vitaminico	Café, derivados del chocolate	3,9%
Producto de origen animal	Pescado, carne; pollo	2,8%

Fuente: Elaboración propia

Entre los consumidores que al inicio manifestaron conocer los alimentos funcionales, la categoría más mencionada es la de productos lácteos, con 43,6%, lo cual mostraría que existe una relación entre la percepción actual de los alimentos funcionales y los productos lácteos como el queso fresco, objeto de este estudio. En la categoría de frutas y verduras existe una asociación del 25,1%, proporcional a una cuarta parte de la muestra, lo cual indica que los alimentos funcionales se consideran como alimentos necesarios en la alimentación de los seres humanos, por su importancia nutricional y complemento de la dieta diaria.

No obstante, los universitarios suelen asociarlo en menor medida con alimentos de la canasta básica con un 14%, sin embargo, indica que el desconocimiento hacia los productos funcionales provoca una relación con los productos de la canasta básica pues suponen que los alimentos funcionales suelen ser todos aquellos alimentos que se consumen diariamente.

La asociación del aceite vegetal como alimento funcional, en un 10%, suele ser un dato curioso, ya que es bien sabido el desconocimiento por los alimentos funcionales, sin embargo, existen alimentos que se consumen diariamente y que los estudiantes han identificado como alimentos funcionales, tal es el caso del aceite de oliva.

En la categoría de bebidas con aporte energético o vitamínico, con un 3,9%, los consumidores consideraban que los alimentos funcionales eran aquellos que aumentan los niveles de energía en el cuerpo por sus altos contenidos de calorías, como derivados del chocolate o el café.

Finalmente, es importante mencionar que el 2,8% de los encuestados hicieron referencia a la categoría de productos de origen animal como el pescado, pollo y carne de res. Es interesante la bipolaridad en los resultados ya que en su momento los productos de origen animal suelen representar una oportunidad de negocio de los productos funcionales en el mercado mexicano seguido de los productos lácteos, pero existe una relación totalmente opuesta en los resultados, es decir, consideran que los productos lácteos son alimentos funcionales mientras que muy pocos jóvenes lo hacen con los productos como la carne, el pollo o pescado.

A pesar del evidente desconocimiento hacia los alimentos funcionales, ocasionado principalmente por la falta de comercialización de estos productos en la región de estudio, los estudiantes han demostrado una asociación correcta y con ello una intención de compra favorable sobre este tipo de productos.

## Análisis conjunto

La importancia relativa y la utilidad parcial se presentan en la tabla 3, para cada uno de los niveles pertenecientes a cada atributo. Como se observa, en la columna derecha se presentan los porcentajes de la importancia relativa de cada atributo, es decir, lo que cada atributo influye en la formación de la función de preferencias del consumidor. A su vez, en la penúltima columna se muestra la utilidad parcial para cada nivel de los atributos en cuestión.

Los signos negativos indican que la presencia de ese nivel concreto del atributo reduce en esa cantidad la utilidad total del producto para el consumidor. Aná-



logamente, un signo positivo implica que la presencia de ese nivel del atributo incrementa la utilidad total del producto [13].

En la tabla 3 es posible observar el atributo que más influye en la formación de las preferencias es “enriquecido” con una importancia del 49,1%, seguido por el “tipo de leche” con un 20,32%. Los atributos que menor peso tienen para el consumidor son “precio” con un 17,50% de importancia relativa, y por último la “presentación” del queso fresco (envasado o al corte) con un 12,45%.

Tabla 3. Análisis conjunto de preferencia del consumidor hacia el queso como alimento funcional, Baja California Sur, México.

Atributos	Niveles	Utilidad parcial*	Importancia relativa (%)
Enriquecido	Enriquecido	0,619	49,71
	No enriquecido	-0,619	
Presentación	Envasado 500 g	-0,155	12,45
	Al corte 500 g	0,155	
Tipo de Leche	Vaca	0,253	20,32
	Cabra	-0,253	
Precio	\$ 45	0,218	17,50
	\$ 55	0,436	
	\$ 65	0,654	

Nota: El signo positivo (+) indica un incremento en la utilidad y por lo tanto el signo negativo (-) una disminución.

La función de utilidad media para los participantes cuestionados se puede expresar de la siguiente manera:

$$U = (0,619 \text{ enriquecido} - 0,619 \text{ no enriquecido}) + (-0,155 \text{ envasado} + 0,155 \text{ al corte}) + (0,253 \text{ vaca} - 0,253 \text{ cabra}) + (0,218 \text{ \$45} + 0,436 \text{ \$55} + 0,654 \text{ \$65})$$

Dentro del atributo enriquecido, el nivel más relevante para la formación de preferencias es el enriquecido. El valor de su promedio relativo de utilidad parcial es positivo de 0,619, mientras que el nivel sin enriquecer es el menos elegido para la formación de preferencias hacia el queso funcional, ya que su promedio de utilidad parcial es negativo (-0,619).

El atributo de presentación está constituido por dos niveles: envasado y al corte; donde se puede apreciar una preferencia hacia la presentación al corte, con un promedio relativo de 0,155, lo contrario sucede con la presentación empaquetado donde se observa un nivel menos elegido para la formación de preferencias con un promedio negativo de -0,155 para la utilidad parcial.

En el mismo sentido, para el atributo de tipo de leche y no menos importante, se puede observar una utilidad parcial positiva con 0,253 para el nivel de leche de vaca y por lo contrario un promedio de utilidad parcial negativo (-0,253) para el nivel de leche de cabra. Con los resultados anteriores se muestra

el comportamiento preferencial acertado hacia este tipo de leche ya que es habitual el consumo de leche de vaca en la región de estudio.

Para el caso del precio que está representado con una importancia relativa del 17,5% con un incremento en su utilidad parcial a medida que aumentan los niveles de precio del producto, indica una asociación del consumidor entre el precio y calidad. Este resultado no es frecuente en los análisis de preferencias, ya que lo habitual es que el consumidor considere que la utilidad que le proporciona el alimento disminuye a medida que el precio aumenta. No obstante, hay referencias que avalan el comportamiento mostrado en este estudio [13], [15], [16], [23] y reflejan que el consumidor utiliza a veces el precio como indicador de calidad del alimento, prefiriendo productos más caros al asumir que brindan más calidad.

### Agrupación de los tipos de consumidores mediante análisis clúster

La determinación de los grupos de consumidores identificados mediante la técnica de análisis clúster (tabla 4) indicó lo siguiente:

Tabla 4. Resultados de análisis conjuntos para cada grupo: Importancia relativa de los atributos y valores parciales por nivel.

Atributos	Niveles	Clúster 1 n = 50 (27,9%)		Clúster 2 n = 85 (47,5%)		Clúster 3 n = 14 (7,8%)		Clúster 4 n = 30 (16,8%)	
		Utilidad	Importancia Relativa (%)	Utilidad	Importancia Relativa (%)	Utilidad	Importancia Relativa (%)	Utilidad	Importancia Relativa (%)
Enriquecido	Enriquecido	-0,875	13,3	0,779	35,1	0,352	21,7	0,220	27,8
	No enriquecido	0,875		-0,779		-0,352		-0,220	
Formato	Envasado	-0,375	13,3	-0,156	17,9	-0,557	30,1	-0,100	26,6
	Al corte	0,375		0,156		0,557		0,100	
Tipo de leche	Vaca	0,625	39,8	0,289	23,8	0,557	28,5	0,110	18,5
	Cabra	-0,625		-0,289		-0,557		-0,110	
Precio	45 \$/500 g	0,614	33,7	0,730	23,2	1,283	19,8	0,229	27,0
	55 \$/500 g	0,750		0,892		1,568		0,280	
	65 \$/500 g	0,886		1,054		1,853		0,331	

Nota: El signo positivo (+) indica un incremento en la utilidad y por lo tanto el signo negativo (-) una disminución.

**Clúster 1:** consumidores “tradicionales” preocupados por el precio, suelen ser un grupo de personas que acostumbran a consumir productos habituales como sería el queso fresco con leche de vaca y por lo tanto pierden el interés de consumir un alimento funcional. El grupo es el más joven, con una distribución por sexos similar a la de la muestra y con un elevado porcentaje de familias grandes y rentas medias-bajas, y todos estos aspectos explican la orientación de sus preferencias.

**Clúster 2:** consumidores “pro-funcionales”, son personas con gran interés por consumir productos funcionales y no consideran al atributo de presentación como algo importante, podrían adquirirlo en cualquiera de las dos presentaciones. Similares a la media en sexo y renta, es el grupo con mayor porcentaje de consumidores de 18-19 años, y presentan tamaños familiares menores que el clúster 1.

**Clúster 3:** consumidores poco sensibles al precio “price-insensitive”, este pequeño grupo de personas suelen ser desinteresados en el precio; por lo tanto, lo podrían adquirir a cualquiera que fuera los niveles de precio del producto funcional en cuestión. De acuerdo con su principal característica de preferencias, es el grupo con mayor porcentaje de rentas medias-altas, siendo además un clúster casi exclusivamente masculino, con el mayor porcentaje de personas mayores de 22 años.

**Clúster 4:** consumidores “pro-funcionales” sensibles al precio, son personas que se muestran interesados en consumir queso fresco funcional, sin embargo, muestran gran sensibilidad sobre el precio. En el clúster 3 se observó algo similar, la principal característica de este grupo es la renta, ya que la mayoría de sus miembros tiene rentas bajas. Además, en este clúster la presencia de la mujer es más elevada (casi a la par con los hombres) y con menor tamaño de la familia de toda la muestra.

Los clústeres anteriores permiten identificar los segmentos de mercado los cuales estarían dispuestos a consumir productos funcionales, en este caso el queso fresco, bajo las diferentes características y diseñar estrategias de comercialización.

## CONCLUSIONES

El estudio de las preferencias de los consumidores jóvenes universitarios hacia el queso fresco con características funcionales demuestra un fuerte interés para que el queso esté enriquecido. Además, se encontraron grupos de consumidores que podrían convertirse en potenciales nichos de mercado. La creciente tendencia en el consumo de alimentos funcionales genera una interesante oportunidad de negocio para el sector agroindustrial mexicano, y en especial, para el subsector lácteo, dada la fuerte asociación entre el concepto de alimentos funcionales y los productos lácteos.

Es importante resaltar que este estudio es una primera aproximación al tema, porque las limitaciones geográficas del muestreo hacen que las conclusiones no puedan ser generalizables a la población mexicana, quedando para futuras investigaciones la ampliación de la muestra.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Mastrodoménico, H. (2013). *Persuasión y tendencias de consumo* [versión electrónica]. *Poliantea*, 7(13).

[2] Silveira Rodríguez, M. B., Monereo Megías, S., & Molina Baena, B. (2003). *Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?*. *Revista española de salud pública*, 77, 317-331.

[3] Arai, S. (2000). *Functional food science in Japan: state of the art* [versión electrónica]. *Biofactors*, 12(1-4), 13-16.

[4] Arai, S. (1996). *Studies on functional foods in Japan—state of the art* [versión electrónica]. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 60(1), 9-15.

[5] Oficina Comercial de Chile en Londres. *Tendencias del mercado: Alimentos Funcionales en Reino Unido*. Obtenida el 5 de noviembre de 2018, de la página electrónica: [https://www.prochile.gob.cl/wp-content/files\\_mf/1424895611Tendencias\\_RU\\_Alimentos\\_Funcionales\\_2014.pdf](https://www.prochile.gob.cl/wp-content/files_mf/1424895611Tendencias_RU_Alimentos_Funcionales_2014.pdf)

[6] Secretaría de Economía [SE] (2012). *Análisis del sector lácteo en México*. Consultado 4 de noviembre de 2018 en la página [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/analisis\\_sector\\_lacteo.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf).

[7] Loera, J., & Banda, J. (2017). *Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno* [versión electrónica]. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(SPE), 419-426.

[8] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2016). *Panorama de la lechería en México*. Consultado 03 de mayo de 2019, de la página electrónica: [http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche\\_Septiembre2016.pdf](http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche_Septiembre2016.pdf).

[9] Ramirez-Lopez, C. & Vélez-Ruiz, J.F. (2012). *Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad* [versión electrónica]. *Temas selector de Ingeniería en Alimentos*, 6(2), 131-148.

[10] Food and Agriculture Organization [FAOSTAT]. *Estadística de suministro alimentario*. Obtenida el 30 de noviembre de 2018, de la página electrónica: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/CL>

[11] Schmitt, N. (1998). *Quantifying word association responses: What is native-like?* *System*, 26(3), 389-401.

[12] Mesías, F. J., Carrasco, M., & Albisu, L. M. (1997). *Análisis de las preferencias de los detallistas de jamon curado mediante el Analisis Conjunto* [versión electrónica]. *Información Técnica Económica Agraria*, 93A(1), 41-55.

[13] Montaña Méndez, I. E., Avendaño Ruiz, B. D., Acosta Martínez, A. I., & Mesías Díaz, F. J. (2013).

Preferencias de leche fresca de bovino del consumidor de Baja California, México [versión electrónica]. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(1), 47-60.

[14] Malhotra, K. N. (1997). *Investigación de mercados: un enfoque práctico (2da)*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

[15] Annunziata, A., & Vecchio, R. (2013). Consumer perception of functional foods: A conjoint analysis with probiotics [versión electrónica]. *Food Quality and Preference*, 28(1), 348-355.

[16] Mesías, F. J., Martínez-Carrasco, F., Martínez, J. M., & Gaspar, P. (2011). Functional and organic eggs as an alternative to conventional production: a conjoint analysis of consumers' preferences [versión electrónica]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(3), 532-538.

[17] Murphy, M., Cowan, C., Meehan, H., & O'Reilly, S. (2004). A conjoint analysis of Irish consumer preferences for farmhouse cheese [versión electrónica]. *British food journal*, 106(4), 288-300.

[18] Monjardino de Souza Monteiro, D., & Ventura-Lucas, R. M. (2001). Conjoint measurement of preferences for traditional cheeses in Lisbon [versión electrónica]. *British Food Journal*, 103(6), 414-424.

[19] Ness, M., & Gerhardy, H. (1994). Consumers preferences for quality and freshness attributes of eggs [versión electrónica]. *British Food Journal*, 96, 26-34.

[20] Steenkamp, J.-B. E. M. (1987). Conjoint measurement in ham quality evaluation [versión electrónica]. *Journal of Agricultural Economics*, 38(3), 473-480.

[21] Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1999). *Análisis multivariante*. Madrid, España: Prentice-Hall.

[22] Bengochea, A., Fuertes, A. M., & del Saz, S. (2003). Estudio de las preferencias individuales sobre un espacio natural mediante el análisis conjunto. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas.

[23] Mesías, F. J., Pulido, F., Escribano, M., Gaspar, P., Pulido, Á. F., Escribano, A., & Rodríguez-Ledesma, A. (2013). Evaluation of New Packaging Formats for Dry-Cured Meat Products Using Conjoint Analysis: An Application to Dry-Cured Iberian Ham [versión electrónica]. *Journal of Sensory Studies*, 28(3), 238-247.



# Calidad

*y*

# Sistemas de Manufactura

---

# Ingeniantes

# Percepción de visitantes sobre la salud del hábitat UMA Jaguaroundi



## Colaboración

Esther Mariela Arzate Escamilla; José Alfonso Sánchez Gómez, Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas; Eduardo Márquez Canosa, Universidad Europea de Energía y Medio Ambiente-UEMA, Valladolid, España

**RESUMEN:** El objetivo general de la investigación es Determinar la percepción de los visitantes sobre la salud del hábitat UMA Jaguaroundi para controlar el bienestar de la flora y la fauna, mediante técnicas cualitativas. Para alcanzar el objetivo, primero se aplicó la encuesta por el método Delphi, para tener la seguridad de los criterios técnicos emitidos. Se evaluó la condición de salud de la UMA, tomando en cuenta cuatro criterios: estructura de la selva, riqueza faunística, población asociada, presencia de fuentes de agua en la selva. Se aplicó la fórmula de una muestra finita a una población de 800 visitantes de la UMA, aplicando la encuesta a una muestra de 100 personas. Se realizó un análisis de las respuestas obtenidas y se validó mediante el estadístico Chi Cuadrada que la calificación otorgada por los visitantes es favorable ya que se encuentran en el rango de Bien a Muy bien.

**PALABRAS CLAVE:** Salud, encuesta, Unidad de Manejo Animal.

**ABSTRACT:** The general objective of the research is to Determine the perception of visitors about the health of the UMA Jaguaroundi habitat to control the welfare of flora and fauna, using qualitative techniques. To achieve the objective, the survey was first applied by the Delphi method, in order to be sure of the technical criteria issued. The health condition of the UMA was evaluated, taking into account four criteria: structure of the forest, fauna richness, associated population, presence of water sources in the jungle. The formula of a finite sample was applied to a population of 800 visitors of the UMA, applying the survey to a sample of 100 people. An analysis of the responses obtained was carried out and it was validated by the Chi Square statistic that the rating granted by the visitors is favorable since they are in the range of Good to Very good.

**KEYWORDS:** Health, survey, Animal Management Unit.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran problemática ambiental y esta situación ha incrementado en las últimas décadas el riesgo de extinción de especies con problemas de conservación [1].

Debido a la importancia que representa la salud tanto humana como la de otros organismos (animales y vegetales), en especial los que tienen importancia económica para los humanos, surge la medicina de la conservación.

La medicina de la conservación es una rama reciente de la ciencia, esta rama de la ciencia se define como “el estudio de la biodiversidad del planeta y la salud de los ecosistemas a través de investigación interdisciplinaria y educación, lo cual conduce a mejorar el bienestar del hombre mediante el adecuado manejo de la biodiversidad y los ecosistemas donde habita”. En otras palabras, esta área de estudio trata de restablecer el balance que la naturaleza ha perdido por los cambios tan rápidos y drásticos de los últimos 200 años, en particular desde el inicio de la revolución industrial [2].

Por lo tanto, se puede decir que la ciencia de la medicina de la conservación tiene un enfoque de eco salud, es decir busca el equilibrio óptimo entre la salud-bienestar del ser humano y la protección del medio ambiente. Por lo tanto, la salud ecológica busca la aplicación de la interrelación entre los científicos, la comunidad y los gobiernos [3].

El estado de Veracruz cuenta con selvas y bosques de niebla, sin embargo, ha sufrido un agresivo cambio de uso del suelo, conservándose actualmente, el 3% de su vegetación original. El estudio que se está realizando es en el área natural protegida, Parque Ecológico Jaguaroundi, es un relicto de selvas y humedales, en buen estado de conservación, que forma parte de ese escaso 3% de vegetación natural de Veracruz, de ahí su importancia [4].

Las características principales del Parque Ecológico Jaguaroundi se presentan en la Tabla I.

Tabla I. Características del Parque Ecológico Jaguaroundi

Tipos de Especies	14 especies de mamíferos 36 especies de anfibios 55 especies de reptiles 90 especies de insectos 15 especies de murciélagos 220 especies de aves
Ubicación	Coatzacoalcos, Veracruz.
Existencia	9 años

Fuente: Propia

La ubicación del área de estudio la Unidad de Manejo Animal (UMA) Jaguaroundi, es a 10 km de la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, en la periferia de las instalaciones de los complejos petroquímicos Cangrejera y Pajaritos, de Petróleos Mexicanos.

En este trabajo de investigación se observa cómo se ha integrado el Jaguaroundi a su entorno actual, para así poder aumentar su población en beneficio de la misma especie como de las personas que visitan el lugar.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se propone una evaluación para determinar la salud del hábitat UMA Jaguaroundi, a través de

los siguientes objetivos específicos:

1. Elaborar y aplicar una encuesta basándose en el método Delphi, para tener la seguridad que los criterios técnicos emitidos, dado el enfoque de las preguntas fueron respondidas sin contradicción evidente de las mismas.

2. Evaluar la condición de salud de la UMA, con la metodología cualitativa, tomando en cuenta cuatro criterios: estructura de la selva, riqueza faunística, población asociada, presencia de fuentes de agua en la selva.

### Etapas de la investigación:

#### Elaboración y aplicación de la encuesta:

Se formuló una encuesta con apoyo del método Delphi, tomando a consideración la ponderación mediante una escala Likert de 5 niveles de acuerdo a la escala presentada en la Tabla II.

Tabla II. Criterios de evaluación

Criterio	Valor
Muy bien	76 – 100
Bien	51 – 75
Regular	26 – 50
Malo	1 – 25
Muy malo	0

Fuente: Propia

El cuestionario que se aplicó fue para conocer las percepciones de los visitantes acerca de la salud de la unidad de manejo animal (UMA) Jaguaroundi.

La evaluación se realizó tomando en cuenta variables e indicadores, respecto a las variables sirven para clasificar los diversos factores bióticos existentes en la UMA, así mismo cada variable se encuentra conformada por diversos indicadores.

Las variables de evaluación fueron: Estructura de la selva, Riqueza faunística, Población asociada, Presencia de fuentes de agua.

Se evaluaron los indicadores: Presencia de especies florísticas del clima cálido-húmedo, Presencia de riqueza florística específica, Existe regeneración natural de especies indicadoras, Presencia de especies propias de la zona (endemismo florístico), Presencia de aves, Presencia de especies amenazadas, Presencia de insectos, Presencia de anfibios y reptiles, Presencia de población de fauna fuera de la UMA (alrededores), Presencia de población de flora fuera de la UMA (alrededores), Presencia de quebradas y ríos dentro de la UMA, Permanencia de caudal en quebradas y ríos (dentro de la UMA).

La encuesta se aplicó a 100 visitantes de la UMA Jaguaroundi, el periodo de evaluación fue de 16 días en

un lapso de 4 meses, teniendo en cuenta que la UMA solo abre sábados y domingos, los días domingos fueron asignados para esta actividad ya que es el día que por lo regular hay más personas. De acuerdo al historial de la UMA, la población de visitantes es alrededor de 800 personas en 16 domingos, con una probabilidad y un nivel de confianza del 95 %, por lo cual se aplicó la fórmula para obtener el tamaño de una muestra finita y se obtuvo como resultado el valor de 100 visitantes como muestra.

**RESULTADOS**

**Análisis cuantitativo:**

Se realizó un análisis cuantitativo donde se tomaron en cuenta los 100 cuestionarios, a continuación, se presentan los resultados de cada una de las 4 variables de evaluación con su respectivo análisis.

**Variable: Estructura de la Selva**

*Tabla III. Resultados de la variable de estructura de la selva*

VE	IE	Estado de conservación (%)					Resultado estadístico
		M M	M	R	B	MB	Valor real %
1.				20	33	47	5
Existencia de fragmentación				1	1.65	2.35	
Presencia de especies florísticas del clima cálido-húmedo				20	37	43	5
				1	1.85	2.15	
Presencia de riqueza florística específica				23	37	40	5
				1.15	1.85	2	
Existe regeneración natural de especies indicadoras				13	40	47	5
				0.65	2	2.35	
Presencia de especies propias de la zona, endemismo florístico		10	15	28	47	5	
		0.5	0.75	1.4	2.35		
Total		10	94.8	182.3	232.85	25	

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla III en lo referente al indicador "Existencia de fragmentación", tomando en cuenta su significado como una superficie homogénea no lineal que comparte similares propiedades ecológicas y difiere en apariencia de lo que lo rodea [5], el mayor valor obtenido en porcentaje fue 2.35, correspondiente a la codificación Muy Bien, la personas perciben que en la UMA los espacios muertos son reducidos o no existen. Eso indica que no existe deforestación en el área evaluada.

En el indicador Presencia de especies florísticas del clima cálido-húmedo el mayor valor obtenido fue 2.15%, correspondiente a la codificación otorgada Muy bien,

por lo cual la gente considera que la UMA cumple en este criterio, por lo tanto, estas especies indicadoras nos hablan de que existe una amplia gama de plantas selváticas que enriquecen el lugar.

En lo que se refiere a la Presencia de riqueza florística específica el valor obtenido fue 2%, correspondiente también a la codificación de Muy Bien, esto nos indica que hay existencia de especies endémicas del lugar, por lo tanto, es un buen indicador en la percepción de la gente.

En lo referente al indicador Existe regeneración natural de especies indicadoras se obtuvo 2.35%, la UMA cuenta con invernaderos, por lo tanto, no tienen ningún problema en la regeneración de las especies que habitan allí, la codificación obtenida también fue Muy bien, que es el valor más alto en la tabla de ponderación.

En el indicador Presencia de especies propias de la zona, endemismo florístico de la selva, el valor obtenido fue 2.35% este valor nos indica que una especie es endémica de cierta región, que solo es posible encontrarla de forma natural en ese lugar, por lo tanto, esto refleja un resultado óptimo, por la importancia de este valor y lo que representa en el medio ambiente, debido a que esta especie no puede habitar en cualquier sitio. La ponderación obtenida fue Muy bien.

A estos valores obtenidos para la variable de Estructura de la Selva se les aplicó una prueba Chi-Cuadrada y se aceptaron como válidos con un 95% de confianza.

**Variable: Riqueza Faunística**

*Tabla IV. Resultados de la variable de evaluación de riqueza faunística*

VE	IE	Estado de conservación (%)					Resultado estadístico
		M M	M	R	B	MB	Valor real %
2.				19	46	35	5
Presencia de mamíferos				0.95	2.3	1.75	
Presencia de aves			1	17	35	47	5
			0.05	0.85	1.75	2.35	
Presencia de especies amenazadas				18	36	46	5
				0.9	1.8	2.3	
Presencia de insectos			9	9	36	46	5
			0.45	0.45	1.8	2.3	
Presencia de anfibios y reptiles			10	18	30	42	5
			0.5	0.9	1.5	2.1	
Total			20.5	84.15	190.65	224.7	25

Fuente: Propia

En el indicador Presencia de mamíferos el mayor valor obtenido fue 2.3%, que en la ponderación corresponde al valor Bien, esto nos indica que no es el valor más alto obtenido, pero tomando a consideración lo mencionado por [6]: Las especies que ocupan posiciones en altos niveles tróficos, como es el caso de los depredadores, suelen ser más susceptibles a los efectos de la pérdida de hábitat, por lo que pueden ser buenas especies paraguas para la conservación de otras especies con menores requerimientos, por lo tanto, el resultado es un valor óptimo.

En lo referente al indicador Presencia de aves, el mayor valor fue 2.35% correspondiente a la ponderación Muy bien, esto nos indicó que la UMA posee gran variedad de aves que enriquecen la fauna presente, en el lugar de estudio.

En lo concerniente al indicador Presencia de especies amenazadas, el valor obtenido fue 2.3% correspondiente también a la ponderación de Muy bien, representa que la UMA conserva un número notable de estas especies que son de un valor incalculable para la humanidad, este resultado nos indica que la UMA está realizando muy bien su labor en la conservación de los recursos naturales.

Para el indicador Presencia de insectos el mayor valor obtenido fue 2.3%, correspondiente la ponderación de Muy Bien, el cual nos muestra, que estas especies brindan una serie de servicios ecológicos dentro de los sistemas orgánicos: la polinización, el control de plagas y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, este indicador es muy representativo.

El siguiente indicador Presencia de anfibios y reptiles brindó el mayor resultado de 2.1%, manifestando que la presencia de estas especies es clave para la conservación y mejora de la biodiversidad. Además, su manifestación es un indicador biológico de la calidad ambiental de un lugar y, en especial, de las zonas húmedas., el valor obtenido de 2.1 % correspondiente nuevamente a la ponderación de Muy Bien, que es el valor más alto en la tabla de codificación.

A estos valores obtenidos para la variable de Riqueza Faunística se les aplicó una prueba Chi-Cuadrada y se aceptaron como válidos con un 95% de confianza.

## Variable: Población Asociada

Tabla V. Resultados de la variable de población asociada.

VE	IE	Estado de conservación (%)					Resultado Estadístico
		M M	M	R	B	MB	Valor real %
3.	Presencia de población de fauna fuera de la UMA (alrededores)		12	17	41	30	15
		1.8	2.55	6.15	4.5		
		14	25	46	15	10	
		1.4	2.5	4.6	1.5		
Total		27.8	44.55	93.15	49.5	25	

Fuente: Propia

## Variable: Presencia de fuentes de agua.

Tabla VI: Resultados de la variable permanencia de fuentes de agua

VE	IE	Estado de conservación (%)					Resultado Estadístico
		M M	M	R	B	MB	Valor real %
4.	Presencia de quebradas y ríos dentro de la UMA			19	39	42	15
				2.85	5.45	6.3	
			10	20	40	30	10
		1	2	4	3		
Total		10	41.85	84.85	78.3	25	
						100	

Fuente: Propia

En lo referente al indicador Presencia de población de fauna fuera de la UMA (alrededores), el mayor valor



obtenido fue 6.15%, la ponderación es Bien; esto representa un buen resultado debido a la ubicación de la UMA, que está rodeada por complejos petroquímicos, y esto refleja que a pesar de esta situación hay un porcentaje razonable de fauna.

En el indicador Presencia de población de flora fuera de la UMA (alrededores) se obtuvo una mayor puntuación el 4.6%, correspondiente a la ponderación Bien, así como en el punto anterior el comentario es similar debido a que la puntuación obtenida es alta por las circunstancias antes descritas de la ubicación de la UMA. A estos valores obtenidos para la variable de Población Asociada se les aplicó una prueba Chi-Cuadrada y se aceptaron como válidos con un 95% de confianza.

En lo Referente al indicador Presencia de quebradas y ríos dentro de la UMA, la mayor puntuación fue 6.3%, correspondiente a la ponderación Muy Bien, esto es de suma importancia debido a que los ríos constituyen un sistema de circulación lineal, vectorial, jerarquizado y estructurado para trasladar sedimentos y fluidos vitales a través de las Cuencas Hidrográficas y sus desembocaduras, realizando complejas reacciones dinámicas, mecánicas, energéticas, químicas y bioquímicas con el propósito de dar sustento en todo su recorrido a la vida en sus diferentes formas.

En el indicador Permanencia de caudal en quebradas y ríos (dentro de la UMA), la mayor puntuación recibida fue del 4% y la ponderación Bien, este indicador va de la mano del anterior y se complementan en la importancia que tiene la profundidad de los ríos, el caudal resulta imprescindible para mantener los procesos geomorfológicos y la dinámica natural. Igualmente, la estructura y composición de la vegetación en el territorio fluvial depende directamente del régimen de caudales existente.

A estos valores obtenidos para la variable de Presencia de fuentes de agua se les aplicó una prueba Chi-Cuadrada y se aceptaron como válidos con un 95% de confianza.

## CONCLUSIONES

La UMA de estudio tiene una ubicación de cercanía respecto a los complejos petroquímicos y de la contaminación ambiental que producen las actividades antropogénicas, sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos se pudo determinar que la percepción de los visitantes es que las especies que habitan en la UMA no se encuentran amenazadas por lo expuesto anteriormente, viven en un hábitat adecuado, esto favorece su reproducción y la buena convivencia entre ellas.

Existen cada día más personas interesadas en visitar este parque y se crea conciencia del cuidado al medio ambiente.

Derivado del estudio realizado, se recomienda que se realicen encuestas y mantenimiento de la UMA de manera periódica, esto con el objetivo de conocer las percepciones de los visitantes y de seguir realizando actividades tales como la reforestación, fabricación y cursos de elaboración de compostas, cursos de capacitación del cuidado del medio ambiente y la integración de animales decomisados a su habitat natural, que han servido para mantener en un estado saludable la UMA de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Haydon DT, Laurenson M. K, Sillero-Zubiri, C. *Integrating epidemiology into population viability analysis: managing the risk posed by rabies and canine distemper to the Ethiopian wolf. Conserv Biol* 16, 1372-1385. 2002.

[2] Alonso, A. A., Ostfeld R. S. y Daszak P. *New Directions in Conservation Medicine: Applied Cases of Ecological Health*, Nueva York, Oxford Univ. Press. 2012.

[3] Alonso, Aguirre A. *New Directions in Conservation Medicine. University George Mason*. 2012.

[4] Nava Yolanda, Rosas Irma. *El Parque Ecológico Jaguarundi. Conservación de la selva tropical Veracruzana en una zona industrializada*. 2008.

[5] Forman, R. T.T y Godron, M. *Patches and structural components for land scape ecology. Bioscience*, p. 6. Pp.158, 1981.

[6] Dobson, A; Lodge, D; Alder, J., Cumming, G. S., Keyer, J., Mooney, H., Rusak, J. A., Sala, O., Wolters, V., Wall, D., Winfree, R. & Xenopoulod, .A. *Habitat loss, trophic collapse and the decline of ecosystem services. Ecology*, 2006.



Bioquímica  
*y*  
Biológicos

---

Ingeniantes

# Optimización del proceso (papa frita): Productos Industrializados del Occidente, S.A. de C.V.



## Colaboración

Francelin Dimas Díaz; María Guadalupe Santillán Valdelamar; Sergio Serrano González, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

**RESUMEN:** El presente trabajo tiene la finalidad de agilizar los procesos de producción en forma ordenada y secuencial que permita a los trabajadores conocer cada proceso para así realizar el trabajo de manera más eficiente.

Aplicar la metodología de Estudio de Tiempos, para determinar la duración promedio de cada proceso, sobre ello implementar actividades para minimizar tiempo y aumentar la productividad de la empresa.

Dar a conocer las medidas de seguridad necesarias para evitar posibles incidentes, teniendo como referente las políticas presentes en la empresa, la adecuación de maquinaria, así como las condiciones de higiene. Para con esto elaborar un manual de procedimientos aplicable a una empresa dedicada a la elaboración de botanas que permita a los trabajadores saber que se hace y para que se hace. Con la toma de tiempos se logra eficiente el proceso de papa frita con una reducción de tiempo del 24.56%.

**PALABRAS CLAVE:** Manual, procedimientos, optimización de tiempos, seguridad.

**ABSTRACT:** The present work has the purpose of streamlining production processes in an orderly and sequential manner that allows workers to know each process in order to perform the work more efficiently.

Apply the methodology of Time Study, to determine the average duration of each process, on it implement activities to minimize time and increase the productivity of the company.

Make known the necessary security measures to avoid possible incidents, taking as reference the policies present in the company, the adequacy of machinery, as well as the hygiene conditions. To do this, prepare a manual of procedures applicable to a company dedicated to the preparation of snacks that allows workers to know what is done and what is done. With the taking of times, the fried potato process is achieved with a time reduction of 24.56%.

**KEYWORDS:** Procedures manual, time optimization, security.

## INTRODUCCIÓN

Los manuales de procedimientos son herramientas administrativas que brindan apoyo a las empresas en sus diferentes áreas. Estableciendo funciones correctamente, políticas, normas, etc. Con la finalidad de obtener una correcta dirección en el proceso. (Impulsapopular).

Todo proceso debe implementar un sistema de control interno, los cuales forman el pilar para desarrollar adecuadamente sus actividades, estableciendo responsabilidades a los encargados de todas las áreas, generando información útil y necesaria. (Burrows, 2016)[1]

Procedimiento: Documento que explica cómo realizar una o varias actividades. Cuando el procedimiento es un documento, se denomina “procedimiento escrito” o “procedimiento documentado”. [2] Toda empresa que lleve a cabo un proceso productivo o preste un servicio, siempre está en la búsqueda de crecer y aumentar su rentabilidad y el camino ideal para lograrlo es a través del aumento de su productividad.

El estudio de tiempos es una técnica empleada para la medición del trabajo. Que sirve para analizar los movimientos que hace el operario para llevar a cabo la operación. Para evitar movimientos innecesarios que solo incrementan el tiempo de la operación, detectando operaciones que causan retrasos en la producción para mejorar la eficiencia de la línea de producción [3]

Dentro del estudio de tiempos y movimientos se toman en cuenta las condiciones ambientales, ya que parte del buen desempeño laboral de los empleados se debe al ambiente de trabajo en el cual se desenvuelven. Un empleado rinde de mejor manera cuando se ve involucrado en actividades que se consideran importantes para el buen funcionamiento de la empresa y en el cual se siente incluido en la toma de decisiones [3].

El propósito de este trabajo es identificar los procedimientos, elaborar un manual de procedimientos que sirva como orientación al personal de nuevo ingreso, así como al personal que ya labora en la empresa. Conocer los procesos para poder realizar el estudio de tiempos, propuestas de mejora y realizar la toma de tiempos y minimizar tiempos necesarios, así como la evaluación de las medidas de seguridad pertinentes en la organización para lograr la optimización de los procesos en la empresa.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología que se utilizó para elaborar el manual se tomó de los lineamientos que marca la norma ISO 10013: 2001 Directrices para la documentación para procedimientos documentados en el punto 4.5. A continuación, se mencionan los elementos que se considera, deben integrar un manual de procedimientos, por ser los más relevantes para los objetivos que se persiguen con su elaboración:

## Estructura y formato

### Contenido

- Título
- Introducción
- Propósito (Objetivo(s) del Manual)
- Alcance
- Desarrollo de los procedimientos[4]

### Estructura y formato.

Se refiere a la primera página o portada del manual, en ella deberán aparecer y/o anotarse los datos siguientes:

1. Logotipo de la dependencia.
2. Nombre de la dependencia.
3. Nombre o siglas de la unidad administrativa responsable de su elaboración o Actualización.
4. Título del Manual de Procedimientos.
5. Fecha de elaboración o en su caso, de actualización.



Figura 1. Portada del manual.

Fuente: Elaboración propia.

### Contenido.

En este apartado se presentan de manera sintética y ordenada, los apartados principales que constituyen el manual.

- a) Introducción.
- b) Objetivo del manual.
- c) Nombre de los procedimientos desarrollados.

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN.....	36 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">A</span>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">B</span>
<span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">C</span> PROCEDIMIENTOS.....	38
Propósito del Procedimiento.....	39
Alcance:.....	39
Referencia:.....	39
Responsables:.....	39
Definiciones:.....	39
Método de trabajo:.....	40
a) Políticas Y Lineamientos:.....	40
b) Descripción de actividades:.....	41

Figura 2. Contenido del manual.

Fuente: Elaboración propia.

**a) Introducción.**

Se refiere a la explicación que se dirige al lector sobre el panorama general del contenido del manual, de su utilidad y de los fines y propósitos que se pretenden cumplir a través de él.

En este caso en productos industrializados del occidente S.A. de C.V. (BOTANAS TUKI) se describe la aportación que da el manual de procedimientos de la empresa que es: Contribuir al incremento de productividad mediante la utilización del manual de procedimientos que dará una guía a los trabajadores para la elaboración de las diferentes botanas que se realizan en la empresa.

**b) Objetivo(s) del manual.**

Especifica con claridad los que, para qué y cómo se realizara el trabajo. Productos industrializados del occidente S.A. de C.V

**c) Procedimientos del manual.**

Toda empresa debe de tener un sistema de información, es decir una red de canales de comunicación en la organización.



Un Procedimiento es una forma específica de llevar a cabo una actividad o proceso (ISO 9000:2015 Vocabulario) [8]. En la empresa se elaboraron un total de 13 procedimientos los cuales son:

1. Procedimiento para elaborar papas fritas.
2. Procedimiento para elaborar chicarrón 10 x 10.
3. Procedimiento para elaborar fritura.
4. Procedimiento para elaborar paloma natural.
5. Procedimiento para embolsar semillas.
6. Procedimiento para elaborar botamix.
7. Procedimiento para elaborar plátano frito.
8. Procedimiento para elaborar paloma de caramelo.
9. Procedimiento para elaborar embolsar fritura.
10. Procedimiento para elaborar paquetaxo.
11. Procedimiento para elaborar paloma de queso.
12. Procedimiento para elaborar fritura condimentada.
13. Procedimiento para elaborar semillas de girasol.

Con estos procedimientos se logró describir todas las actividades de la variedad de botanas que se realizan en productos industrializados del occidente S.A. de C.V. para dar a conocer a todos los empleados y eliminar la problemática de falta de conocimiento y conocimiento en una sola persona para la elaboración de las diferentes botanas.

En la imagen podemos observar la descripción del propósito, alcance y referencias y responsabilidades del manual.

En la figura 4; esta a manera de ejemplo para observar el formato de los procedimientos y secuencia de actividades.

**Propósito del Procedimiento:**  
El propósito de este trabajo, es la elaboración del manual de Procedimientos ya que es un elemento que contiene información detallada e integral, ordenada y sistemática sobre: responsabilidades, funciones, sistemas y actividades de las diferentes operaciones que se realizan dentro de la empresa.

**Alcance:**  
Aplica para todos los procedimientos vinculados de manera específica, práctica y operativa para que el manual pueda ser utilizado con un considerable grado de sencillez por todos los posibles usuarios.

**Referencia:**

- Guía Técnica Para La Elaboración De Manuales De Procedimientos.
- Manual De Procedimientos Departamento De Producción

**Responsables:**  
El encargado del encargo del área de producción es responsable de:

- Dirigir y supervisar que se efectúe de manera adecuada y oportuna cada proceso.
- Organizar y controlar la realización de los diferentes procesos.
- Actualizar los formatos del manual en caso de que exista alguna modificación.

Figura 3. Descripción del contenido del manual  
Fuente: Elaboración propia.


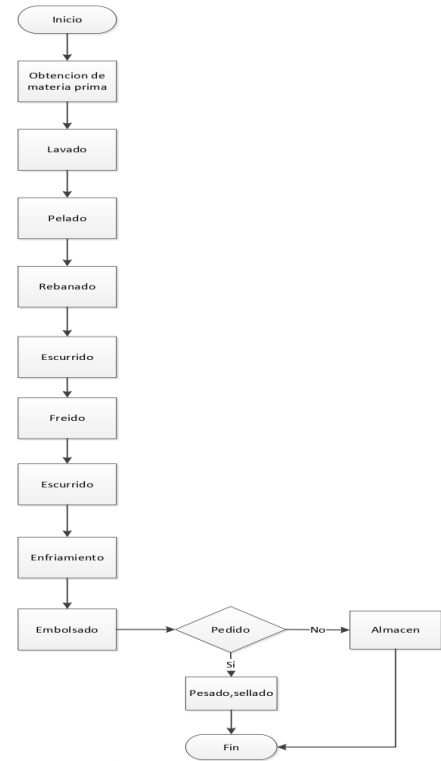
	<b>BOTANAS TUKI</b>	FECHA: 05/DIC./2017
	<b>PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR PAPAS FRITAS.</b>	PAGINA: 1 De 36
ÁREA RESPONSABLE: Área de producción.		
Descripción de actividades.		
		
Elaboró: <b>Selena Álvarez García</b> Residente	Revisó: <b>C. Juan Escobedo Martínez</b> Gerente General	Autorizó: <b>C. Juan Escobedo Martínez</b> Gerente General

Figura 4. Ejemplo del formato de procedimiento  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 y 6 podemos observar la descripción del proceso en la elaboración de papas fritas.

## Descripción del proceso

Para la elaboración de las papas fritas, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Obtención de la materia prima:
  - a. Papas
  - b. Aceite vegetal
  - c. Sal
  - d. Utensilios (caso, tanque de gas, quemador, espátula, coladera, colador, pela papas, recipiente grande con papel, rayador, escurridor)
  - e. Bote con agua
  - f. Bolsas
  - g. Bascula
  - h. Maquina Selladora
2. Se lavan y se pelan las papas, ya que todas estén peladas comenzamos a cortarlas con el rayador lo más finamente posible colocándola en el bote con agua.
3. En una coladera grande se vacían las papas cortadas para que se escurran.
4. Se coloca el caso sobre el quemador, para posteriormente abrir la llave de gas y encender la flama del quemador, vaciando bastante aceite sobre el caso, esperar aproximadamente 5 minutos para que se caliente a una temperatura alta.
5. Posteriormente con mucho cuidado, se introduce una cierta cantidad de papa cortada en el aceite, con ayuda de la espátula se mueven, dejando aproximadamente de 8 a 10 minutos.
6. Después del tiempo establecido, ya que las papas estén doradas con ayuda del colador se van sacando del aceite para colocarlas en el escurridor para que se escurra el aceite que contienen las papas.
7. Finalmente se colocan en un recipiente grande con papel para que se seque el aceite y se enfrien, colocando una mínima cantidad de sal para condimentar.

Figura 5. Descripción del proceso 1  
Fuente: Elaboración propia.

8. Posteriormente ya que estén frías, si se requiere pedido se comienzan a embolsar y pesar dependiendo el pedido que se requiera. Para 1 kilo se utiliza la bolsa de 40 x 60 y para 500 gramos se utiliza la bolsa 35 x 45.
9. En la selladora, las bolsas que ya estén listas para sellar se colocan en la parte superior, manualmente se verifica que las bolsas no tengan aire y se hace una especie de dobles aproximadamente de 2 cm. Se colocan los dedos en las laterales de la bolsa para introducirla en la selladora, ya que está colocada correctamente con el pie se presiona el pedal, verificando que la bolsa este bien sellada.
10. Ya que las bolsas estén selladas se distribuye la papa por toda la bolsa, para colocarlas en un lugar establecido cuidando que no se maltraten, para que finalmente el repartidor se encargue de la distribución del producto.

Figura 6. Descripción del proceso 2  
Fuente: Elaboración propia.

## ESTUDIO DE TIEMPOS

Actualmente, para llevar a cabo un procedimiento se requiere de tiempo, dentro de Productos industrializados del Occidente S.A. de C.V botanas Tuki surge la necesidad de hacer un estudio de tiempos con cronómetro con la técnica vuelta a cero, con el objetivo de verificar en que procedimiento existe una demora en cuanto a tiempo, y sobre ello hacer propuestas que ayuden a reducir los tiempos en algunos procesos, para así aumentar la productividad de la empresa, enseguida se muestran los tiempos de cada proceso:

**TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN DE PAPA FRITA**  
Para la elaboración de papa frita se determinaron los siguientes estándares de tiempos:

Tabla 1. Tiempos de producción de papa frita

Actividades	Tiempo (s)
Lavado	612
Pelado	918
Rayado	763.2
Escurredo	198.6
Freido	556.8
Escurredo	211.2
Enfriado	446.4
Embolsado	17.68
Pesado	4.12
Sellado	8.94
<b>Total de tiempo</b>	<b>3763.94</b>

Fuente: Elaboración propia.

**TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN DE PALOMA NATURAL.**

Para la elaboración de paloma natural se determinaron los siguientes estándares de tiempos, considerando que estos tiempos son para una cantidad de 4 kilos y medio de maíz:

Tabla 2 Tiempos de producción de paloma natural

Actividades	Tiempo (s)
Freido	325.2
Enfriado	446.6
Embolsado	18.86
Pesado	3.02
Sellado	9.15
<b>Total de tiempo</b>	<b>802.83</b>

Fuente: Elaboración propia.

**TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN DE CHICHARRÓN 10 X 10.**

Para la elaboración de chicharrón 10 X 10 se determinaron los siguientes estándares de tiempos, siendo estos tiempos estimados para una ronda de freído de 7 chicharrones:

Tabla 3. Tiempos de producción de chicharrón 10 x 10

Actividades	Tiempo (s)
Freído	22.36
Prensado	14.43
Enfriado	523
Embolsado	284.6
Sellado	36.08
<b>Total de tiempo</b>	<b>880.47</b>

Fuente: Elaboración propia.

**TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN DE PLÁTANO FRITO.**

Para la elaboración de plátano frito se determinaron los siguientes estándares de tiempos

Tabla 4. Tiempos de producción de platano frito

Actividades	Tiempo (s)
Pelado	773.8
Rayado	247.2
Freído	577.2
Ecurrido	256.8
Enfriado	513.6
Embolsado	13.28
Pesado	3.56
Sellado	9.12
<b>Total de tiempo</b>	<b>2,354.56</b>

Fuente: Elaboración propia.

**TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN DE FRITURA.**

Para la elaboración de fritura se determinaron los siguientes estándares de tiempos, en la cantidad aproximada de 3 kilogramos de pasta.

Tabla 5. Tiempos de producción de fritura.

Actividades	Tiempo (s)
Freído	34.22
Centrifugado	837.2
Enfriado	216.2
Embolsado	24.28
Pesado	5.23
Sellado	8.74
<b>Total de tiempo</b>	<b>1,125.87</b>

Fuente: Elaboración propia.

**MEDIDAS DE SEGURIDAD**

La higiene y seguridad es primordial en cualquier labor, especialmente cuando hablamos de máquinas industriales, es así como se considera que para tener una producción de calidad es necesario cumplir con ciertas especificaciones. De acuerdo a la visualización de la frecuencia con que se presentaba cada riesgo, se identificó una matriz de riesgos, en donde se da a conocer el nivel de este y sobre ello implementar las medidas de seguridad siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 31000:211 Gestión de riesgo. Principios y directrices.

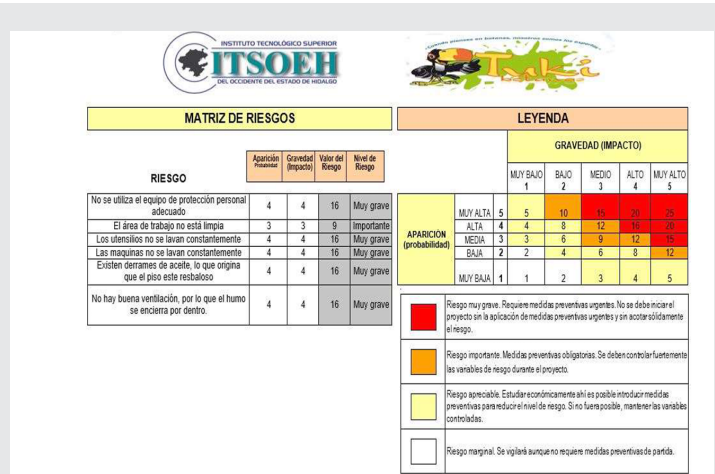


Figura 7. Matriz de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis de riesgos de la figura anterior, y la NOM-030-STPS-2009, servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo, funciones y actividades en el apartado 3.14 Seguridad y salud en el trabajo se muestran las medidas de seguridad que se implementaron, y que es necesario llevarlas a cabo para cumplir con los objetivos:

- Se debe definir un sitio específico para realizar cada actividad, Para disminuir tiempos perdidos por desplazamientos
- En el proceso de las palomas se recomienda ampliar el sitio de trabajo con una mesa auxiliar para realizar las tareas manuales diferentes, teniendo a la mano los materiales a utilizar.
- Uso obligatorio del equipo de protección personal (bata, cofia, cubre boca).
- Realizar 5's en el área de trabajo.
- Es importante mantener limpio y ordenado cada puesto de trabajo.
- Evitar la acumulación de materiales alrededor de la maquinaria industrial; colocar los objetos en forma ordenada y en sitios correctos.
- Recoger las cosas que puedan causar accidentes y procurar que los pisos estén bien limpios.
- Mantener los pasillos, escaleras, puertas y salidas de emergencia libres de obstáculos.
- Las herramientas y materiales que se usen en la empresa deben ser utilizados cuidadosamente y guardados de manera ordenada.

- Respetar las señales de seguridad existentes.
- No fumar dentro, ni fuera de la empresa.
- No usar objetos como: anillos, aretes, botones, cadenas. Durante el proceso.
- Antes de usar alguna maquina es recomendable saber cómo se maneja.
- La materia prima debe almacenarse de forma adecuada.
- Limpiar los derrames de aceites y otros desperdicios en los pasillos o sitios donde se puedan ocasionar caídas.
- Aplicar mantenimiento constantemente a las maquinas industriales. [5]

Se realizó un diagrama de recorrido para optimizar el proceso, las figuras 8 y 9 nos muestra el comparativo del antes y después del área.

## RESULTADOS

Una vez observado los elementos de producción de las diferentes botanas que productos industrializados del occidente realiza, se logró elaborar el manual de procedimientos de los 13 tipos de botana que realiza la empresa misma que servirá de guía para los empleados de la empresa.

Después de haber hecho la toma de tiempos en el proceso de papa frita, se opta por eliminar la actividad de pelado de papa, considerando que así aumenta la productividad, puesto que al reducir tareas aumenta la producción por unidad de tiempo, el ahorro obtenido es de 918 segundos equivalente al 24.56%, el procedimiento de elaboración de la papa frita se optimizo friendo la papa con cascara.

Se realizó un acomodo en el área de producción como lo muestran los diagramas de recorrido de la Figura 9.

Tabla 6. Comparación de tiempos de proceso de papa frita.

ANTES	DESPUÉS
3,763.94 segundos	2,818.94 segundos

Fuente: Elaboración propia.

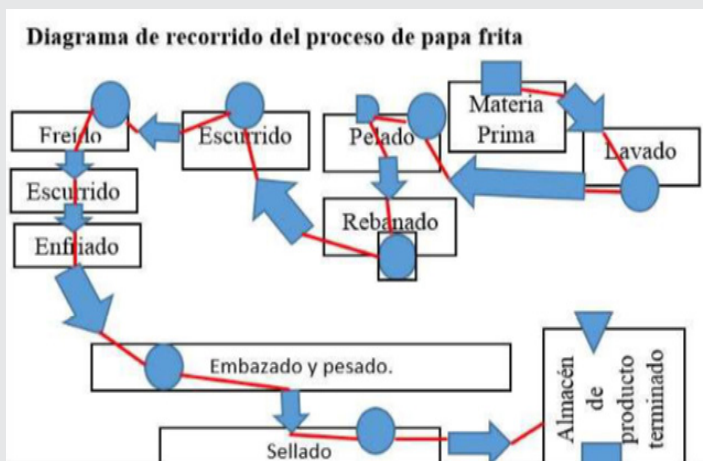


Figura 8. Diagrama de recorrido de producción de papas fritas antes. Fuente: Elaboración propia.

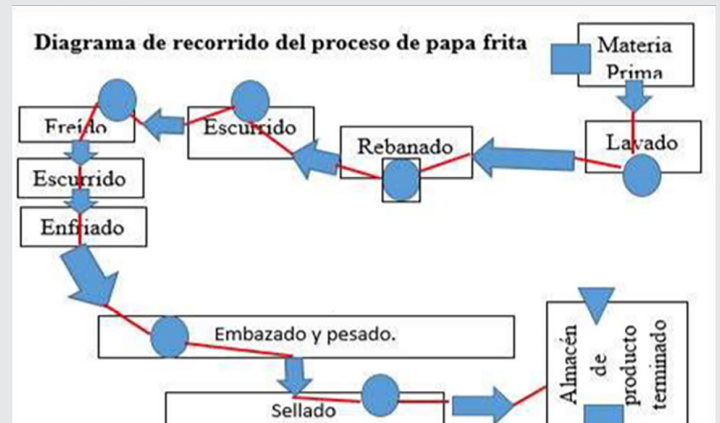


Figura 9. Diagrama de recorrido de producción de papas fritas después. Fuente: Elaboración propia.

Para mejorar la distribución en cuanto a las áreas de producción, se realizó un diagrama de recorrido donde se recomienda mantener las áreas libres de cualquier material o herramientas ajeno a la producción como se puede observar en la figura 10. En el área de almacén para embolsar el producto se recorría una distancia considerable, lo cual provocaba pérdida de tiempo, es por ello que se optó por cambiar esa área de lugar.

## CONCLUSIONES

La elaboración del Manual de Procedimientos permitió conocer todas las actividades implícitas en la producción de en una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de botanas, además de generar una correcta organización y control de todas las áreas que la conforman. Recopilando de manera detallada y organizativa los procedimientos que se deben seguir en el desarrollo de las actividades y en la adquisición de responsabilidades. Al igual que al realizar un estudio de tiempos se determinó el tiempo para cada proceso, después de este análisis se determinaron las actividades a implementar para reducir esos tiempos, así mismo se difundieron las medidas de seguridad que deben cumplir dentro de la empresa para disminuir los riesgos, accidentes y enfermedades a las que están expuestos los trabajadores, optimizando con esto el proceso de fabricación de botanas.



[5] NORMA Oficial Mexicana NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo-Funciones y actividades.

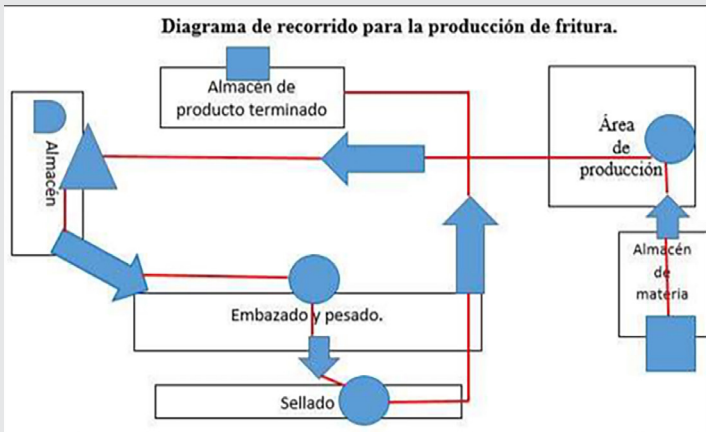


Figura 10. Diagrama de recorrido de producción de frituras antes. Fuente: Elaboración propia.

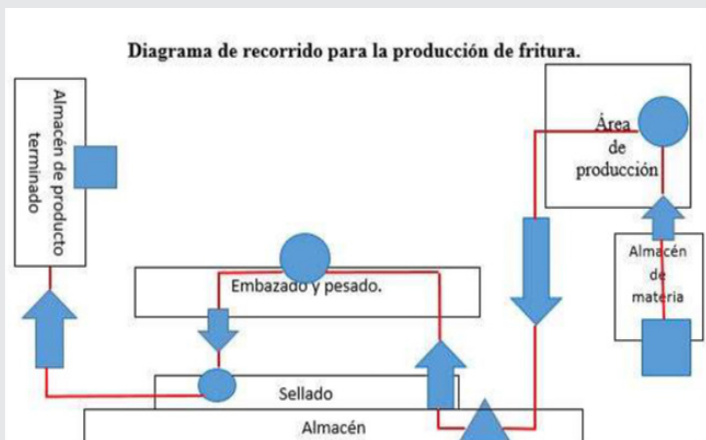


Figura 11. Diagrama de recorrido de proceso de frituras después. Fuente: Elaboración propia.

**BIBLIOGRAFÍA**

[1] Rosaura Tamara Barahona Noboa, Génesis Raquel Cabezas Bohórquez y Luis Felipe Castillo Criollo (2018): “Manual de procedimientos aplicado al régimen de admisión temporal para perfeccionamiento activo”, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (abril 2018).  
En línea: <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/04/regimen-admision-temporal.html>

[2] ISO 9000:2015, Sistemas de gestión de la calidad- Fundamentos y Vocabulario.

[3] López Carlos. (2014). El estudio de tiempos y movimientos. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/el-estudio-de-tiempos-y-movimientos>.

[4] ISO 10013: 2001 Directrices para la documentación para procedimientos documentados en el punto 4.5.



Mecánica  
*de*  
Materiales

---

Ingeniantes

# Análisis y modelado de un eje de una máquina cortadora de placas de mármol



## Colaboración

Pedro Cruz Ortega, Adolfo Manuel Morales Tassinari; Marcos Manuel Azcaray Rivera, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

**RESUMEN:** Uno de los procesos que se llevan a cabo en las empresas dedicadas a la transformación de productos minerales pétreos en productos terminados, es el denominado corte de block de mármol; dicho proceso se lleva a cabo en una máquina cortadora denominada parqueteadora. Debido a que la actividad de las empresas locales en el municipio de Tepexi de Rodríguez localizado en la mixteca baja del estado de Puebla, se enfoca en su mayoría en la producción de parquet y laminado, se implementan procesos de recuperación de materiales producto de las mermas de los grandes cortes en las piedras. No obstante, sabiendo que la artesanía es considerada una actividad secundaria en muchas localidades de dedicadas al proceso del mármol, resulta importante para las empresas de la transformación del mármol aplicar nuevas estrategias de aprovechamiento del material que están procesando. El presente trabajo muestra el análisis y modelado de un eje multidisco que tiene como propósito ayudar el proceso de producción de una artesanía basada en mermas de mármol denominada tapete de recubrimiento.

**PALABRAS CLAVE:** Mermas de mármol, eje multidisco, artesanía, taller, modelado.

**ABSTRACT:** One of the processes carried out in companies dedicated to the transformation of stone mineral products into finished products, is the so-called marble block cut; This process is carried out in a cutting machine called a parquet machine. Because the activity of local companies in the municipality of Tepexi de Rodríguez located in the low Mixteca of the state of Puebla, focuses mostly on the production of parquet and laminate, processes of recovery of materials product of waste are implemented of the great cuts in the stones. However, knowing that craftsmanship is considered a secondary activity in many localities of our country, it is important for marble transformation companies to apply new strategies for the use of the material they are processing. The present work shows the analysis and modeling of a multi-disk axis that has as purpose to help the process of production of a crafts based on marble shrinkage called coating mat.

**KEY WORDS:** Marble waste, multi-disk axis, crafts, workshop, modeling.

## INTRODUCCIÓN

Puebla es un estado asociado principalmente como un destino turístico que es rico en gastronomía, artesanías e historia; como lo establece el Centro de Estudios de Competitividad adscrito al Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM), la pequeña y mediana minería y la minería social enfrentan problemas de cuantificación de sus reservas, desconociendo de la calidad de sus minerales, insuficiencia de capacitación para la exploración, beneficio y comercialización de los minerales [1]. La artesanía en México juega un papel importante como un sector que refleja la diversidad cultural y la riqueza creativa de nuestros pueblos y al mismo tiempo, representa un recurso económico para los millones de artesanos en el país que viven de ella. El mármol es una materia prima fundamental en la actividad artesanal en el Estado de Puebla, de donde proviene la mayor oferta de artesanías de este tipo tanto a nivel nacional como internacional [2].

En contexto; en el municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existen canteras de materiales pétreos diversos; en resultado, la actividad económica se basa en gran medida a los empleos en canteras o fábricas transformadoras de mármol. De lo anterior también podemos mencionar que debido a que la actividad de las empresas locales en el municipio de Tepexi de Rodríguez se enfoca mayormente en la producción de material para parquet y laminado; se han presentado durante los últimos años, tendencias a los procesos alternativos de recuperación de materiales sobrantes o mermas de los grandes cortes en las piedras por medio de pequeños talleres.

Es por ello que resulta de especial interés para los autores de este trabajo, la búsqueda de opciones que permitan la recuperación y buen uso de los desperdicios llamados así en cantera en comparativa con la dimensión de la piedra que no es usada en el proceso para laminado y parquet, resultante de explotar los bancos y de la padecería en las grandes fábricas. Al respecto algunos estudios muestran que, aun sabiendo que la artesanía es considerada una actividad económica marginal, es indispensable tener un modelo de producción distinto junto a la administración formal y la búsqueda de estrategias de comercialización que potencialicen este sector [1].

Sabiendo que en numerosas ocasiones se cuenta con el recurso humano y el conocimiento empírico del trabajo de recuperación de mármol, pero que sin embargo no siempre se cuenta con demasiado recurso económico, en el presente trabajo se parte de la idea de qué: La construcción de maquinarias de talla modesta para talleres de recuperación, permitiría lograr incidir al contexto de la economía local, regional y estatal, a través de ofrecer artesanías y productos ornamentales en mármol procedente de la entidad [3]. La Figura 1 muestra la imagen de una máquina parqueteadora y las mermas resultantes del proceso de corte.



Figura 1. Máquina de parquet y las mermas del proceso productivo del mármol. Tomada de [3]

En consecuencia de lo antes mencionado debe entenderse que es de suma importancia para las empresas de la transformación del mármol conocer nuevas estrategias de aprovechamiento del material que están procesando, para que puedan obtener nuevos productos y/o procesos con este desperdicio, generando así nuevas formas y métodos de trabajo en el procesos de industrialización [4].

Una de las principales formas de recuperación del mármol en talleres locales es el denominado corte de zoclo para adorno y protección de las orillas de las paredes a partir de pellets de saldos o mermas de mármol de las fabricas grandes, a estos pellets se les conoce comúnmente como tarimas. Las tarimas contienen placas apiladas que ya tenían las dimensiones finales de 30.5cm x 30.5 cm y que por alguna razón tuvieron una rotura o desperfecto durante el proceso de producción por lo que la reparación es inviable para la empresa por lo que prefiere estibar y vender a productores secundarios.

La mejor forma de recuperación para los pequeños talleres es cuando el saldo de mármol ya tiene el acabado superficial final; por ejemplo, el pulido o el brillado, por lo que solo restará cortar a 30.5 cm x 10 cm. La Figura 2 muestra la imagen de la aplicación más común de un material recuperado de mármol; es decir, el zoclo de protección en orillas de paredes.



Figura 2. Zoclo de mármol para protección de las orillas de paredes

Una forma más compleja de recuperación de material es la creación de los denominados tapetes, mosaicos y cenefas de recubrimiento, mediante el pegado conjunto de pequeñas piezas de mármol ordenados en patrones producto de la imaginación del cliente o del propio productor dueño del taller.

La Figura 3 muestra la imagen de la producción de un tapete para recubrimiento realizado de forma tradicional con pequeños cortes cuadrados de mármol.



Figura 3. Tapete de recubrimiento con pequeños cortes cuadrados de mármol. Tomada de [5]

Cabe mencionar que esta actividad sigue usualmente una producción totalmente artesanal ya que el pegado y diseño se realiza pieza por pieza. Es de apreciarse entonces, que el valor de dichos trabajos se incrementa en cuanto más perfecto sea el acabado, corte y el pegado de las piezas, ya que sirven de recubrimiento para diferentes aplicaciones en la construcción y la arquitectura.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

Una vez entendida la necesidad de producir una superficie flexible, útil para recubrir pisos, columnas, decoraciones en baños, fachadas, etcétera y sabiendo que lo que se requiere es reducir los tiempos de producción; una alternativa al proceso mostrado anteriormente es la que se muestra a continuación.

1. Ensamblar cuadrados de mármol de medidas requeridas (p.e. 30.5 cm x 30.5 cm)
2. Cortar un cuadrado de malla de fibra de vidrio de 2 mm de espesor con las medidas adecuadas (p.e. 30.5 cm x 30.5 cm)
3. Pegar en la malla con resina especial los cuadrados de mármol
4. Dejar secar
5. Escuadrar a medida en caso de ser necesario
6. Uno a uno pasar los cuadrados enmallados por el disco multidisco.
7. Uno a uno pasar los cuadrados enmallados por el eje multidisco girando 90° respecto del primer corte generando así los cuadrados pequeños.

Este último procedimiento optimizara el tiempo de producción y la calidad de escuadrado y alineación de los pequeños cuadrados. La Figura 4 muestra el modelo inicial no validado del eje multidisco propuesto.

**Metodología de análisis**

A causa del desarrollo simultaneo de los esfuerzos cortantes torsionales y los esfuerzos flexionantes, el

análisis de esfuerzos en un eje implica casi siempre emplear el método de esfuerzos combinados. De esta manera el método para diseñar y analizar ejes es el de la teoría de falla por energía de distorsión. También pueden desarrollarse esfuerzos cortantes verticales y esfuerzos normales directos, por cargas axiales. Estos esfuerzos pueden dominar en ejes muy cortos, o en porciones de ejes donde no existe flexión ni torsión [6].

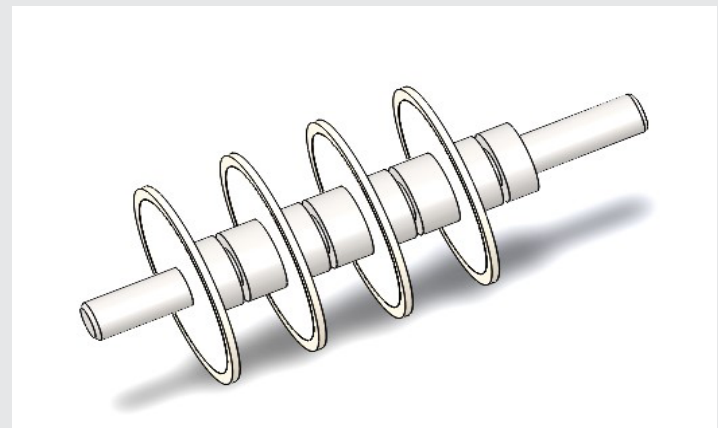


Figura 4. Modelo inicial no validado del eje multidisco

**a) Estimación de la resistencia real a la fatiga  $S'_n$**   
 Se propone un acero aleado AISI 1020 estirado en frío el cual tiene las siguientes propiedades de resistencia.

Resistencia a la tensión  $S_u = 61 \text{ ksi}$   
 Resistencia a la fluencia  $S_y = 51 \text{ ksi}$

Del análisis de la resistencia a la fatiga  $S_n$  en función de la resistencia a la tensión  $S_u$ , se tiene:

$$S_u \approx 23 \text{ ksi}$$

Los discos de corte que se utilizaran son discos de segmento continuo de 4 1/2" siendo su centro 7/8" por lo que un factor de tamaño adecuado para el eje se calcula con la Ec. (1)

$$C_s = \left(\frac{D}{0.3}\right)^{-0.11} = \left(\frac{0.875}{0.3}\right)^{-0.11} \approx 0.89 \quad \text{Ec.(1)}$$

Otros factores a considerar son: factor de material (acero), factor de esfuerzo (esfuerzo flexionante únicamente) y factor de confiabilidad.

Factor de material  $C_m = 1.0$   
 Factor de tipo de esfuerzo  $C_{st} = 0.80$   
 Factor de confiabilidad  $C_R = 0.81$

La resistencia real a la fatiga  $S'_n$  se calcula mediante la Ec. (2)

$$S'_n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_s) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$S'_n = 13264 \text{ psi}$$

## b) Estimación del par torsional en el eje

Se propone una velocidad angular de trabajo del eje  $n=1750$  rpm mediante el uso de un motor trifásico de 1.5 HP. El par torsional se calcula mediante la Ec. (3)

$$T = \frac{63000(P)}{n} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$T = \frac{63000(1.5 \text{ HP})}{1750} = 54 \text{ lb.in}$$

Debe continuarse el análisis mediante el cálculo del diámetro aceptable del eje, en varios puntos del mismo. En cada punto se observara la magnitud del par torsional y del momento flexionante que existan allí, deberá calcularse el valor de los factores de concentración de esfuerzos [6].

## c) Cálculo de diámetros de sección

Con ayuda de Solidworks 2017<sup>o</sup> puede determinarse la masa total del sistema discos separadores, siendo esta:  $m = 6.064$  lb. De esta forma el eje puede considerarse una viga simplemente apoyada sometida a una carga de flexión uniformemente distribuida de 0.92lb/in y un par de torsión igual a 54 lb.in La Figura 5 muestra el sistema discos-separadores para el modelo de la viga a analizar.

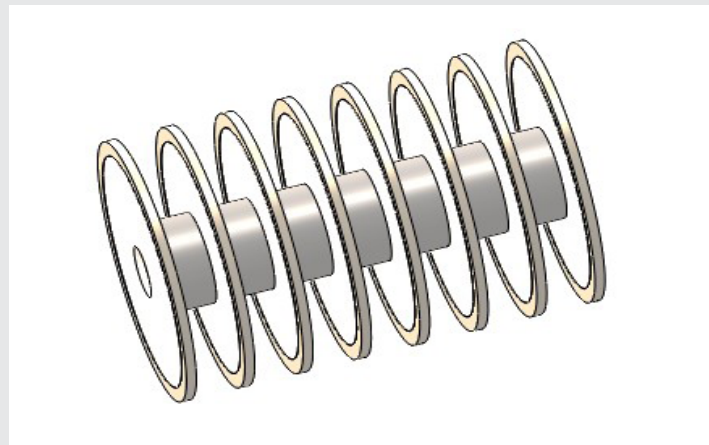


Figura 5. Sistema discos-separadores del eje multidisco

Cabe hacer mención que las fuerzas debidas al trabajo de corte de los discos se considera una variable de diseño para el sistema de avance del material mismo que queda fuera del propósito de este análisis.

Utilizando el Software MDsolid<sup>o</sup> puede modelarse la viga mencionada anteriormente para obtener las reacciones en los apoyos, así como el esfuerzo cortante máximo y el momento flexionante máximo. La Figura 6 muestra los resultados del estudio realizado.

## 1) Diámetro en el segmento sin transmisión de potencia (sección A).

El punto A es el asiento de un rodamiento, a este respecto se considera que no hay momentos torsionales

ni flexionantes. Sin embargo si hay una fuerza cortante vertical igual a la reacción en el apoyo  $RAy=7.51$  lb  $\uparrow$ , como la reacción en el apoyo en el punto B es  $RBy=1.43$  lb  $\downarrow$  puede emplearse la resultante de estas reacciones para calcular la fuerza cortante aplicando la Ec. (4).

$$V_A = \sqrt{(RAy)^2 + (RBy)^2} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$V_A = \sqrt{(7.51)^2 + (1.43)^2} = 7.65 \text{ lb}$$

De lo antes mencionado  $M_A=0 \text{ lb.in}$

Aplicando la Ec. (5) considerando un cambio de sección con chaflán agudo y el uso de una ranura para seguro donde:  $Kt=5.5$  y el factor propuesto  $N=2$  se tiene.

$$D = \sqrt{2.94K_t(V)N/S'n} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$D = \sqrt{\frac{2.94(5.5)(7.65)(2)}{13254}} \approx 0.137 \text{ in}$$

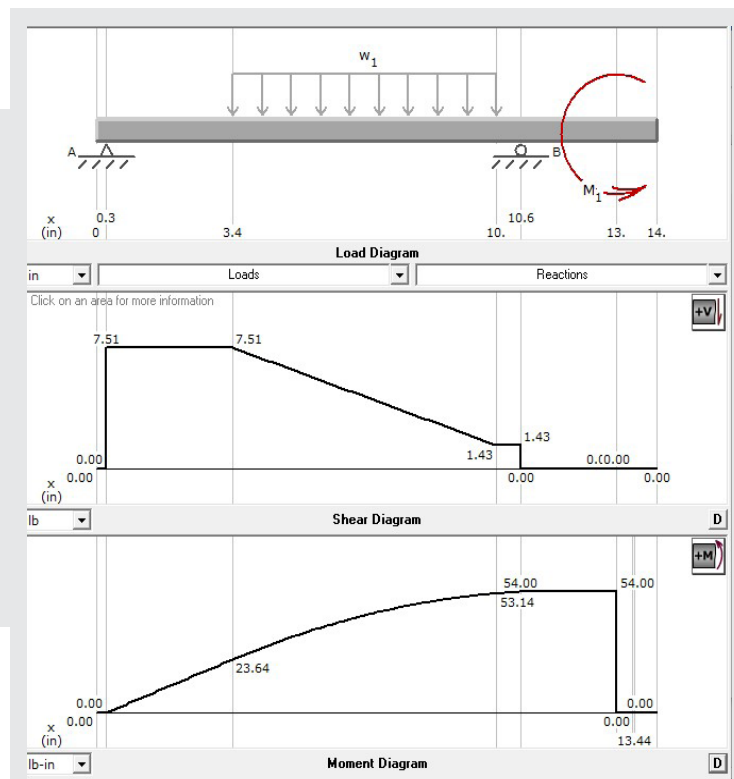


Figura 6. Análisis realizado en MDsolid<sup>o</sup>

Como puede observarse, este diámetro de sección es muy pequeño, en comparación con el diámetro propuesto de 7/8" ó 0.875". Al respecto en [6] se menciona que en la realidad esto es lo que sucede; es decir el valor real del diámetro del eje en esa sección es por lo regular mucho mayor que el valor calculado, por lo que su diámetro en esa sección queda en función de la selección del rodamiento que soporte la carga radial de 7.65 lb.

Un análisis más preciso con respecto a las fuerzas de reacción en el eje sugiere pequeños desplazamientos en el sistema; de esta forma puede argumentarse que los rodamientos no recibirán una combinación importante de cargas radiales y axiales, por lo que se determina que una selección adecuada del tipo de rodamiento a montar es el TIPO DE BOLAS ABIERTO 6303, cuyo diámetro externo e interno son 1.85 in y 0.669 in respectivamente según se muestra en [7].

**2) Diámetro en el segmento con carga distribuida (sección B).**

Para el análisis de la carga uniformemente distribuida del conjunto discos-separadores, donde el momento flexionante máximo es 53.14 lb.in se emplea la Ec. (6) considerando una condición de esfuerzos combinados debido a un chaflán agudo al final de la sección y cuerda al principio de la misma para la sujeción y apriete de los discos se considera un concentrador de esfuerzos  $K_t=2.5$  y un factor propuesto  $N=2$  se tiene.

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_t M}{S_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{Ec. (6)}$$

$$D = \left[ \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{(2.5)(53.14)}{13254} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{54}{51000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.589 \text{ in}$$

Como puede observarse, este diámetro de sección es más pequeño que el diámetro propuesto de 7/8" ó 0.875", por lo que se concluye que el diámetro propuesto es adecuado para nuestro eje.

**3) Diámetro en el segmento con transmisión de potencia (polea), sección D.**

El punto B es un asiento de un rodamiento, a este respecto: hay momentos torsionales y flexionantes. Empleando nuevamente la Ec. (4) para el cálculo de la resultante de las reacciones la fuerza cortante.

$$V_B = \sqrt{(7.51)^2 + (1.43)^2} = 7.65 \text{ lb}$$

Del análisis de la Figura 6.  $M_B = 54 \text{ lb.in}$   
Aplicando nuevamente la Ec.(6) para esfuerzos combinados, considerando un cambio de sección con chaflán agudo y el uso de una ranura para seguro donde:  $K_t=3.5$  y el factor propuesto  $N=2$  se tiene.

$$D = \left[ \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{(3.5)(53.14)}{13254} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{54}{51000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.656 \text{ in}$$

Como se montará un rodamiento TIPO DE BOLAS ABIERTO 6303 que soportará la carga radial de 7.65 lb. El diámetro de 0.669" es adecuado y suficiente para esa sección del eje y se continua hasta la sección final del eje. En base a los resultados anteriores

se especifica que la transmisión de potencia se realizara mediante una polea acoplada mediante cuña tipo en trineo, cuyo análisis queda fuera de los alcances del presente trabajo.

**Modelación CAD del eje**

En la Figura 7 se presenta el modelo del eje, realizado en Solidworks 2017°, de esta manera se puede identificar los cambios de sección y los concentradores de esfuerzo involucrados para cada componente.

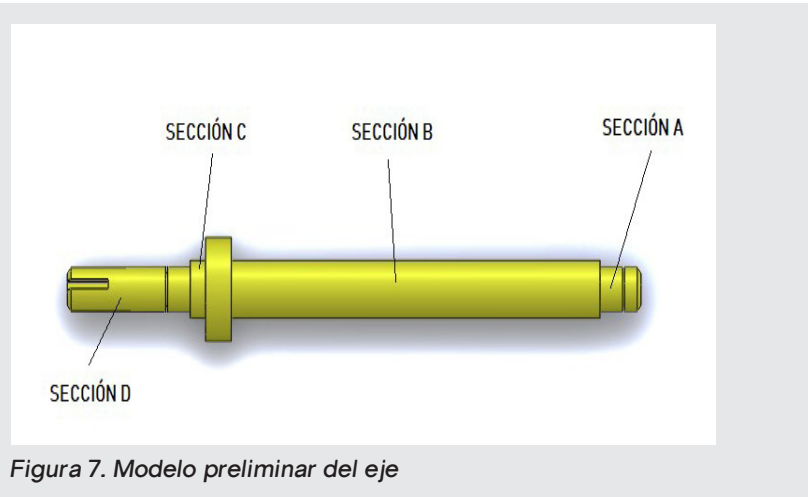


Figura 7. Modelo preliminar del eje

En la Tabla 1 se analizan las dimensiones finales propuestas para los elementos del sistema eje multidisco. Las dimensiones del eje serán sometidas a validación en Solidworks Simulation 2017° las cuales son resultado de los cálculos realizados.

Tabla 1. Componentes de sistema eje multidisco

Nombre del componente	Descripción
Eje	Diámetro sección A 0.669 in Longitud sección A 1.0 in Diámetro sección B 0.875 in Longitud sección B 9.0 in Diámetro de Traslape 1.575 in Longitud de Traslape 0.625 in Diámetro sección C 0.669 in Longitud sección C 0.375 in Diámetro sección D 0.669 in Longitud sección D 3.0 in
Separador	Ancho 0.787 in Diámetro interno 0.880 in Diámetro externo 1.570 in
Rodamientos para montaje	Tipo abierto de bola 6303 Ancho de cara 0.551 in Diámetro interno 0.880 in Diámetro externo 1.570 in
Discos	Diámetro interno 0.875 in Diámetro externo 4.5 in

## 1. Parámetros de modelado en función del funcionamiento final.

- La selección de la polea de tracción está en función del diámetro de la flecha y la relación de velocidades de corte requeridas.

- Se requiere el diseño de una guarda para protección respecto a los discos de corte.

- El sistema de eje multidisco debe considerar la posibilidad de adaptarse a un sistema de ajuste de altura para realizar el corte.

- La selección de rodamientos está en función de las velocidades de trabajo, las horas de trabajo y el tipo de carga aplicada, se debe considerar su lubricación.

- La sujeción final de los discos se dará mediante una tuerca con sistema anti aflojamiento.

## 2. Modelado y presentación final.

En base a las condiciones de trabajo y a la información recabada en la Tabla 1, en la Figura 8 se muestra una vista de sección de los elementos del sistema de corte por flecha multidiscos, nótese la flecha de color amarillo, los ocho discos de corte de color grisáceo, siete separadores en color verde, dos rodamientos de bolas en gris y una tuerca de sujeción en color rojo.

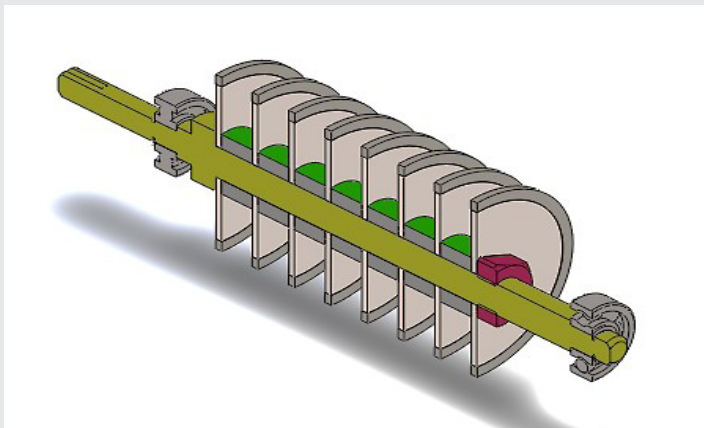


Figura 8. Vista de sección del sistema de corte por flecha multidiscos

La Figura 9 se muestra una vista en render de los elementos del sistema de corte por flecha multidiscos, esa vista es la simulación de apariencia final del componente de máquina.

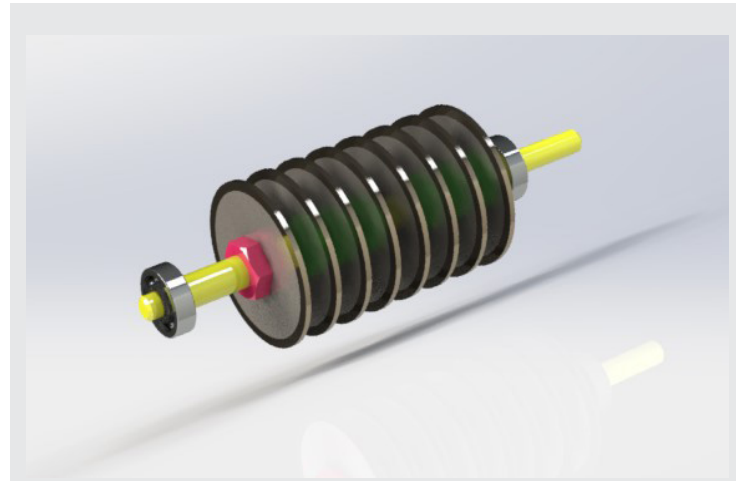


Figura 9. Renderizado del sistema de corte por flecha multidiscos

## RESULTADOS

Para el análisis estático de la flecha se utilizó la herramienta Simulation de Solidworks en su versión 2017 para validar el acero propuesto ACERO AISI 1020, las características de este acero están contenidas en [6]. Así entonces, se consideran los datos obtenidos del análisis realizado para la flecha de transmisión  $T = 54 \text{ lb.in}$  y un esfuerzo permisible  $S'n = 13.27 \text{ ksi}$ .

La Figura 10 muestra el espectro de esfuerzos el cual de acuerdo con la teoría de fallas de Von Mises señala que la máxima concentración de esfuerzos se encuentra en la geometría del eje que comprende al cuñero, esta se denota con un color rojo y tiene un valor de  $S'n = 0.108 \text{ ksi}$ , este valor es relativamente bajo por lo que se considera al acero ACERO AISI 1020 una selección de material adecuada.

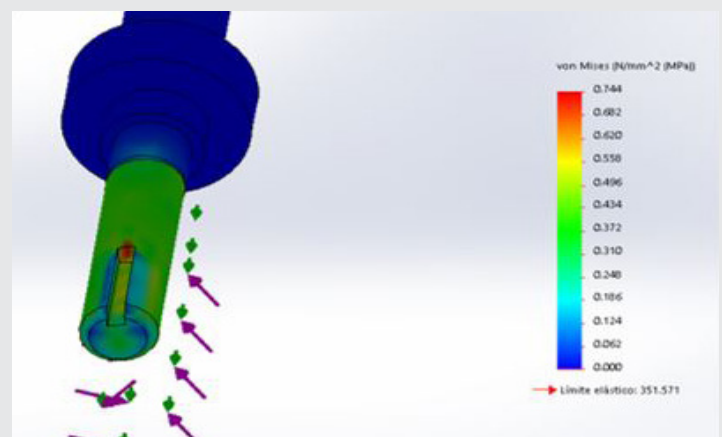


Figura 10. Esfuerzos a los que se somete el eje

Un análisis más preciso con respecto a las fuerzas de reacción en el eje sugiere pequeños desplazamientos, el valor máximo encontrado es de  $6.38 \times 10^{-5}$  por lo tanto puede argumentarse que los rodamientos TIPO DE BOLAS ABIERTO 6303 en este caso son adecuados aludiendo a cargas axiales imprevistas.



tas. La Figura 11 en color rojo la sección que tiende a un desplazamiento relativo.

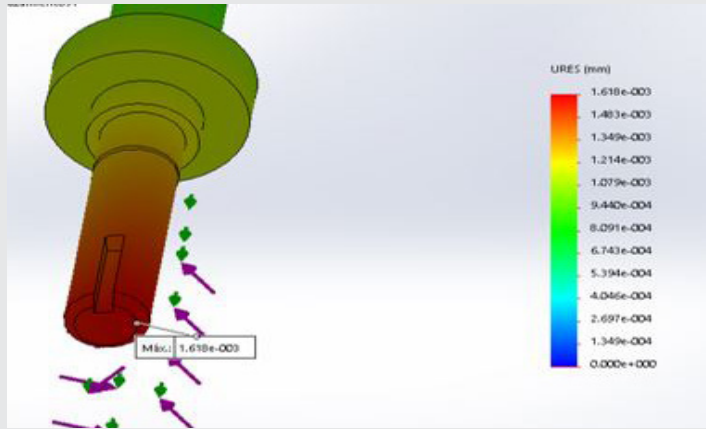


Figura 11. Desplazamientos relativos a los que se somete el eje

La Figura 12 muestra en color rojo la sección que tendera a sufrir una deformación significativa, nótese que se trata del cuñero del cual en una eventualidad se prefiere su deformación al igual que la de la cuña; esto por cuestiones de seguridad y protección para el eje. Empleando la herramienta de Solidworks 2017<sup>o</sup>, se realiza un análisis de frecuencias para conocer aquellas frecuencias en las que el eje entrará en resonancia.

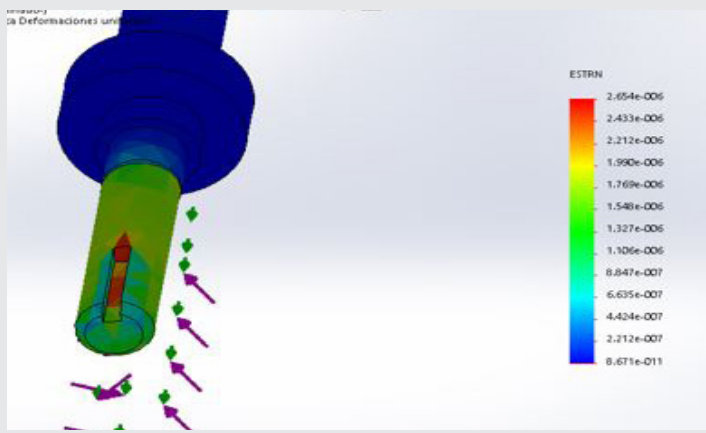


Figura 12. Deformaciones a las que se somete el eje

En la Figura 13, se muestra una imagen donde se aprecian los resultados del primer modo de vibración en el eje:

Como se muestra en la Figura 13, el primer modo de vibración en el eje se obtiene a una frecuencia natural de 9.724 Hz; o sea, a una velocidad de 583.443 rpm. Ahora en la Figura 14, se muestra una imagen donde se aprecian los resultados del segundo modo de vibración en el eje:

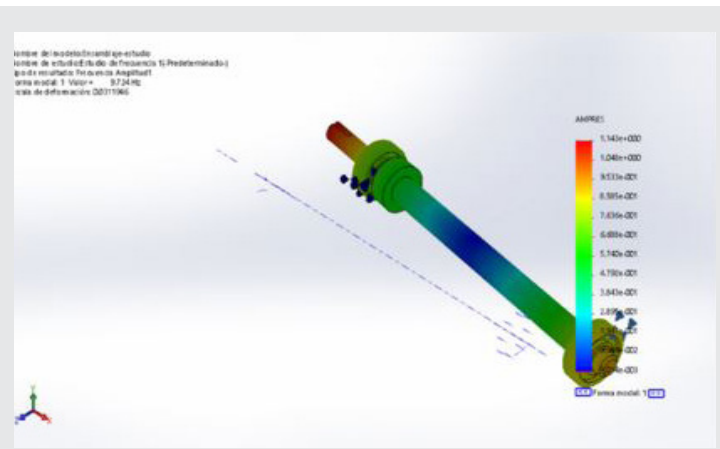


Figura 13. Resultados del primer modo de vibración en el eje

Como se muestra en la Figura 14, el segundo modo de vibración en el eje se obtiene a una frecuencia natural de 1.9358 Hz; o sea, a una velocidad de 116.148 rpm. También en la Figura 15, se muestra una imagen donde se aprecian los resultados del tercer modo de vibración en el eje:

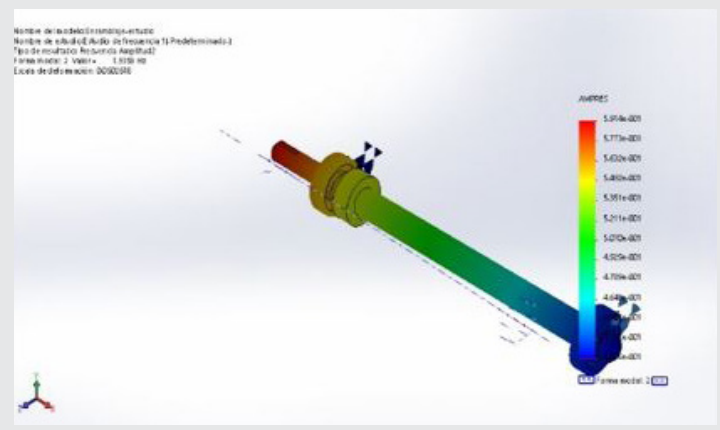


Figura 14. Resultados del segundo modo de vibración en el eje

Como se muestra en la Figura 15, el tercer modo de vibración en el eje se obtiene a una frecuencia natural de 6.4275 Hz; o sea, a una velocidad de 385.645 rpm; por lo que, estos tres modos de vibración podrán existir en el eje real porque el motor tendrá una velocidad máxima de 3600 rpm.

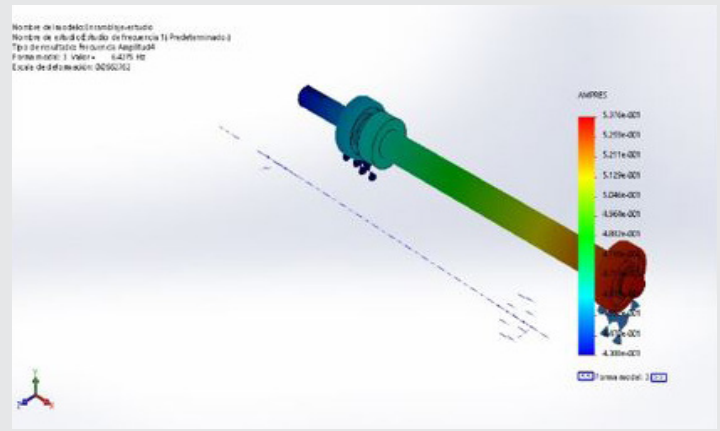


Figura 15. Resultados del tercer modo de vibración en el eje

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo muestran que el elemento crucial del eje multidisco es la sección donde se montara la polea de transmisión de potencia, sin embargo, se considera que las dimensiones propuestas en la Tabla 1, así como el material seleccionado para su diseño soportarán los esfuerzos y las deformaciones a los que estará sometido. Los resultados obtenidos en los estudios estáticos y de frecuencias son adecuados para la fabricación del eje de acero AISI 1020 el cual va estar apoyado entre rodamientos de bolas 6303.

Debe mencionarse que el modelado, así como el análisis de esfuerzos de este componente pudo llevarse a cabo gracias a las herramientas de Software empleadas para este propósito. Finalmente puede concluirse que el eje multidisco como componente de una máquina más robusta tendrá un bajo costo en su posible fabricación. Esto último debido a que los materiales se encuentran fácilmente en el mercado y a que los procesos de manufactura involucrados son convencionales.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que, para optimizar el proceso de fabricación de tapetes con cuadros de diferentes medidas, se fabriquen los separadores correspondientes tomando en cuenta el espesor del segmento de corte de los discos o en el mejor de los casos armar un segundo eje multidisco que pueda alternarse en la máquina final.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] R. Martínez, *Proyecto de inversión para el establecimiento de un taller de artesanías de mármol en Santa María Yucuhiti, Tlaxiaco, Oax., Santa María Yucuhiti, Tlaxiaco, Oaxaca: UTM, 2010.*

[2] Centro de Estudios de Competitividad, «El Sector Minero en México: Diagnóstico, Prospectiva y Estrategía.» de *El Sector Minero en México: Diagnóstico, Prospectiva y Estrategía.*, México, D.F, ITAM, 2004, pp. 1-65.

[3] P. Cruz, «Software de Mantenimiento Preventivo para la Maquinaria de la Empresa Mármoles K&A S.A de C.V.» Tepexi de Rodríguez, 2008.

[4] D. R. Fort, «Los materiales petreos naturales: La piedra natural,» Madrid, España, recuperado en 2018, pp. 49-54.

[5] O. Block, «Onyx Slabs & Onyx Blocks,» videos online, [En línea]. Available: <https://www.onyx.com.mx/>. [Último acceso: 7 Julio 2018].

[6] R. L. Moot, «Diseño de ejes,» de *Diseño de elementos de maquinas*, Edo. de México, Pearson-Prentice Hall, 2006, pp. 530-563.

[7] SNR Industry, *Catálogo general de rodamientos SNR, Informaciones técnicas y listas de productos, 2005-2006.*

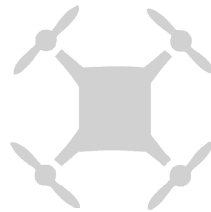


Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Análisis comparativo de estimación de altura para operación en espacios interiores de un Cuadróptero



## Colaboración

José Miguel Hernández Paredes; Sergio Quintanar García; Benigno Muñoz Barrón, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan; Silvionel Medécigo Vité, DEVICES R&D S. A. de C. V

**RESUMEN:** En la actualidad los vehículos aéreos no tripulados (VANT) se utilizan en diversas actividades que van desde simple entretenimiento hasta sofisticadas labores de rescate de personas en zonas no seguras. Los VANT se clasifican dentro del área de la robótica móvil aérea y pueden ser de ala fija o multirrotor. Para la operación de los VANT en ambientes externos el uso de señales satelitales de posición (GPS) es necesario para su manipulación precisa, no obstante en ambientes de interiores estas señales no son accesibles con la precisión requerida, es por ello que en este artículo se propone el uso de sensores ultrasónicos y de altitud para estimar la distancia de un multirrotor con respecto al suelo con la finalidad de controlar la altura automáticamente. Las pruebas son realizadas en un cuadróptero de diseño propio, los resultados se comparan con un sistema de seguimiento por visión para cuantificar el desempeño de cada sensor, finalmente se implementó un sistema de control de altitud para el cuadróptero utilizando la información proveniente de esos sensores para validar su uso.

**PALABRAS CLAVE:** VANT, Sensores, Estimación de Altura.

**ABSTRACT:** Nowadays, unmanned aerial vehicles (UAV) are used in several activities ranging from simple entertainment to sophisticated rescue work for people in unsafe areas. The UAVs are classified within the area of aerial mobile robotics and can be fixed wing or multirotor. For the operation of the UAVs in external environments the use of satellite position signals (GPS) is necessary for their precise handling, however in indoor environments these signals are not accessible with the required precision, that is why in this article it is proposed the use of ultrasonic and altitude sensors to estimate the distance of a multirotor with respect to the ground in order to control the height automatically. The tests are carried out in a quadcopter of own design, the results are compared with a system of monitoring by vision to quantify the performance of each sensor, finally an altitude control system was implemented for the quadcopter using the information coming from those sensors for validity its use.

**KEYWORDS:** UAV, Sensors, Altitude estimation.

## INTRODUCCIÓN

Los VANT tienen una amplia cantidad de aplicaciones en la actualidad, por ejemplo exploración, medición, seguimiento y vigilancia. Para el control y navegación de los mismos se utilizan diversos sensores de retroalimentación, siendo el principal el GPS (global positioning system, sistema de posicionamiento global) (Błachuta & Czyba, 2014). Sin embargo, cuando la labor de navegación involucra tareas

en espacios interiores existen limitaciones de retroalimentación ya que la señal que entrega el GPS no es útil en estas condiciones (T. Wang, Wang, Liang, Chen, & Zhang, 2013). Integrar otro grupo de sensores que entreguen información del entorno es una solución que permite disminuir esta problemática (García Carrillo, López Dzul, Lozano, & Pégard, 2012). Entre las diversas propuestas están las que integran sistemas de visión como principal elemento de retroalimentación, ya sea integrados al VANT (Oh, Huh, Hyunchul, & Tahk, 2011), (Eynard, Vasseur, & Demonceaux, 2012) y (Ramon Soria, Bevec, Begoña C., Ude, & Ollero, 2016) o sobre la infraestructura del edificio para dar seguimiento al vehículo (Martínez, Mondragón, & Campoy, 2011).

Sin embargo, el uso de cámaras sobre el equipo incrementa la carga computacional para el análisis de las imágenes, mientras que los sistemas con cámaras fijas sobre la infraestructura no son útiles para espacios desconocidos. Dispositivos laser para escaneo del mapa han sido utilizados para navegación en espacios interiores (Li et al., 2016) o (F. Wang et al., 2014), con los inconvenientes del costo del sensor y el espacio de trabajo reducido del láser, por lo que estas propuestas sugieren su uso en espacios conocidos. La inclusión de sensores de presión (Stamatescu, Popescu, & Mateescu, 2015) o ultrasónicos para mejorar el desempeño del VANT es común, aunque usualmente vienen acompañados de sistemas de visión (Mondragón, Olivares-Méndez, Campoy, Martínez, & Mejías, 2010) o sistemas que permitan triangular la ubicación del equipo (Yu, Fei, & Geng, 2013) tales como antenas Zigbee. (Gageik, Benz, & Montenegro, 2015) reportan el uso de sensores infrarrojos y ultrasónicos para evitar colisiones del VANT detectando objetos próximos al equipo y trazando una trayectoria alrededor de los mismos. Por otra parte, elaborar algoritmos de navegación en interiores exige tener acceso a la mayor cantidad de información disponible del VANT, por lo que el diseño de una plataforma propia permite ajustar los parámetros físicos y tener acceso a la información adecuada del VANT para implementar acciones de control de forma transparente (Higuera Rincón & Agüero Duran, 2013).

Por lo tanto, una plataforma de arquitectura abierta de experimentación de control y monitoreo de un VANT permite el desarrollo e implementación de leyes de control para mejorar desempeño en labores que involucren navegar en espacios interiores, además es útil para caracterizar sensores que sirven para ubicar la posición del VANT en espacios interiores, donde el GPS no entrega información relevante. En este artículo se utilizó un sistema de visión (de alto costo) para caracterizar el desempeño de diferentes sensores para el control de altura. Está organizado con la siguiente distribución: la segunda sección se presenta modelo matemático de un cuadricóptero ya que este fue la

arquitectura que se utilizó, posteriormente se presenta la estrategia de control para el dispositivo, tanto para los planos xy, el ángulo yaw y la altura. Posteriormente se muestra la plataforma experimenta fabricada y la metodología de monitoreo y control utilizada. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones del trabajo realizado.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

**Modelo cinemático y dinámico de un cuadricóptero.**

El modelo de un cuadricóptero se obtiene al representarlo como un cuerpo sólido envuelto en un espacio de tres dimensiones y sujeto por el empuje principal y los torques en roll, pitch y yaw (García Carrillo, Dzul López, Lozano, & Pégard, 2013). La cinemática de un cuerpo rígido que se mueve en el espacio muestra la relación entre las velocidades de traslación y rotación entre el marco del cuerpo y el marco inercial (Santiaguillo-Salinas & Aranda-Bricaire, 2014). Las coordenadas generalizadas del multirrotor se expresa de acuerdo a la ecuación (1).

$$q = (x, y, z, \psi, \theta, \phi) \in R^6 \tag{Ec. (1)}$$

Donde  $\xi=(x,y,z) \in R^3$  denota la posición vectorial del centro de masas del cuadricóptero relativa al marco de referencia inercial  $\zeta$ . Los ángulos de Euler que representan la orientación del multirrotor se expresan como  $\eta=(\psi, \theta, \phi) \in R^3$ .  $\psi$  es el ángulo yaw alrededor del eje z,  $\theta$  es el ángulo pitch alrededor del eje x y  $\phi$  es el ángulo roll alrededor del eje y, como se muestra en la Figura 1, donde la posición y rotación de la aeronave de 4 motores con respecto al marco inercial están dados por  $\xi$  y  $\eta$  respectivamente.

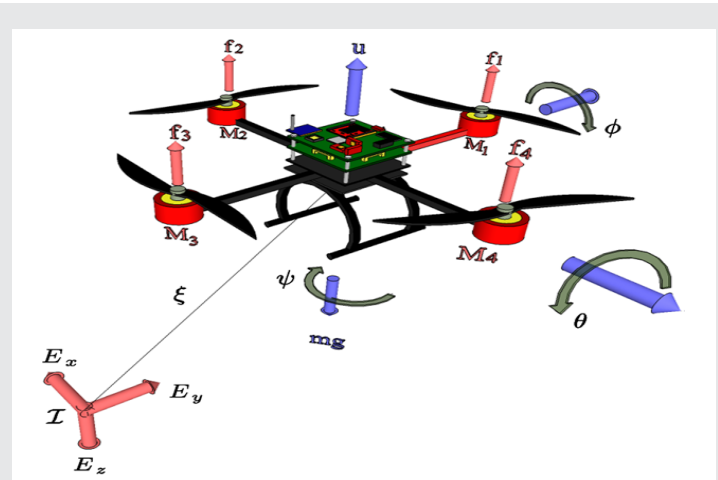


Figura 1. Cuadricóptero en un marco inercial (Carrillo et al., 2013).

Las velocidades lineales del vehículo dadas en el marco del cuerpo están definidas como  $V=[u,v,w]^T$  y las velocidades angulares están representadas por  $\Omega=[p,q,r]^T$ . La relación entre velocidades lineales y las velocidades angulares del marco de referencia y el

cuerpo rígido está definido por la ecuación (2) (Carrillo et al., 2013).

$$\xi = R_b^e V \quad \text{Ec. (2)}$$

$$R_b^e V = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi & c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi \\ c\theta s\psi & s\phi s\theta s\psi + c\phi c\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi \\ -s\theta & s\phi c\theta & c\phi c\theta \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (3)}$$

Con  $c\theta = \cos\theta$ ,  $s\theta = \sin\theta$ ,  $c\psi = \cos\psi$ ,  $s\psi = \sin\psi$ ,  $c\phi = \cos\phi$  y  $s\phi = \sin\phi$ . Las velocidades de los ángulos de orientación en el marco inercial y las velocidades angulares en el marco del cuerpo se relacionan por la ecuación (4).

$$\Omega = W_n \dot{\eta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s\phi \\ 0 & c\phi & s\phi c\theta \\ 0 & -s\phi & c\phi c\theta \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (4)}$$

El modelo dinámico del cuadricóptero se ubicó en el centro de masas en el centro geométrico del multirrotor el cual es simétrico. El modelo dinámico del cuadricóptero se basa en el formalismo Newton Euler (Carrillo et al., 2013), quienes presentan un método para obtener la dinámica a partir del sistema de coordenadas NED (North-East-Down) para el marco inercial y para el cuerpo rígido como se muestra en la Figura 2. En este sistema N, E, D representan el marco de referencia inercial,  $x$ ,  $y$  y  $z$ , representan el marco del cuerpo rígido con un centro de masas dado por  $\xi = (x, y, z)$  y la orientación por  $\eta = (\psi, \theta, \phi)$ . El modelo dinámico no lineal completo se expresa mediante las ecuaciones (5) y (6).

$$m\ddot{\xi} = -mgD + RF \quad \text{Ec. (5)}$$

$$I\dot{\Omega} = -\Omega \times I\Omega + \tau \quad \text{Ec. (6)}$$

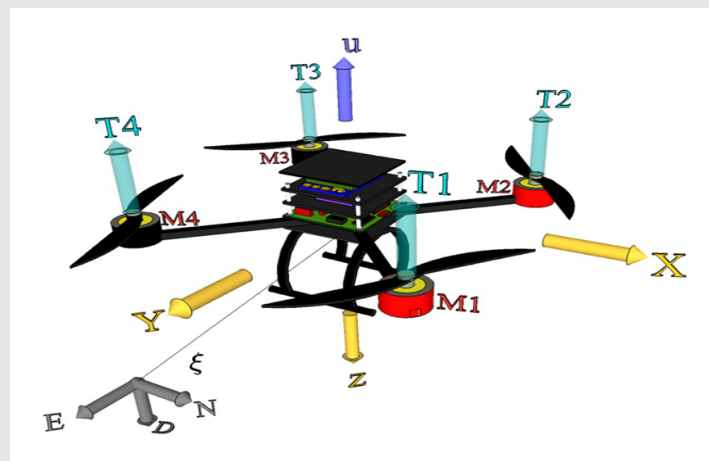


Figura 2. Diagrama NED del modelo dinámico del cuadricóptero (Carrillo et al., 2013).

donde  $R$  es la matriz de rotación que se asocia con el marco inercial y el marco del cuerpo rígido,  $F$  denota la fuerza total aplicada al vehículo,  $m$  es la masa total,  $g$  es la constante de gravedad,  $\Omega$  representa la velocidad angular en el cuerpo rígido, es la matriz de inercia y  $\tau$  es el torque total.

Asumiendo que la fuerza  $F$  tiene sólo un componente en la dirección  $Z$ , la fuerza total se puede escribir mediante la ecuación (7).

$$F = [0 \quad 0 \quad -u]^T \quad \text{Ec. (7)}$$

$$u = \sum_{i=1}^4 T_i \quad \text{Ec. (8)}$$

El vector auxiliar  $\tilde{\tau}$  relaciona el torque generalizado  $\tau$  y se expresa en la ecuación (9), donde  $\Omega = W\eta$  y  $W$  está definido por la ecuación (10)

$$\tilde{\tau} = \begin{bmatrix} \tilde{\tau}_\psi \\ \tilde{\tau}_\theta \\ \tilde{\tau}_\phi \end{bmatrix} = I^{-1}W^{-1}(-IW_{\dot{\eta}} - W_{\dot{\eta}} \times IW_{\dot{\eta}} + \tau) \quad \text{Ec. (9)}$$

$$W = \begin{bmatrix} -\sin\theta & 0 & 1 \\ \cos\theta \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ \cos\theta \cos\phi & -\sin\phi & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (10)}$$

Al utilizar las ecuaciones (5-9), el modelo dinámico se presenta en las ecuaciones (11-16).

$$m\ddot{x} = -u(\cos\psi \sin\theta \cos\phi + \sin\psi \sin\phi) \quad \text{Ec. (11)}$$

$$m\ddot{y} = -u(\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi) \quad \text{Ec. (12)}$$

$$m\ddot{z} = -u(\cos\theta \cos\phi + mg) \quad \text{Ec. (13)}$$

$$\ddot{\psi} = \tilde{\tau}_\psi \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\ddot{\theta} = \tilde{\tau}_\theta \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\ddot{\phi} = \tilde{\tau}_\phi \quad \text{Ec. (16)}$$

Asumiendo que el empuje total contrarresta la gravedad, es decir, el cuadricóptero está en hover (flotando), se puede considerar que cada empuje es modelado como  $\tau_i = Cw_i$  donde  $C$  es una constante que depende de las características de cada motor y  $w_i$  es la velocidad de cada rotor  $i$ . Para simplificar el torque  $\tau_i = C_M T_i$ , como se expresa en la ecuación (17), donde  $l$  representa la distancia entre el centro de masas y el centro del rotor.

$$\begin{bmatrix} \tau_\psi \\ \tau_\theta \\ \tau_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_M & C_M - C_M & C_M \\ -l & -l & l \\ -l & l & -l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (17)}$$

## Comportamiento de un UAV

Un cuadricóptero se controla a través de la velocidad angular de sus cuatro motores eléctricos, cada

motor produce un empuje y un torque, los cuales se combinan para generar un empuje total o principal, los torques en los ejes roll, pitch y yaw actúan en la aeronave, como se muestra en la Figura 3 (Carrillo et al., 2013).

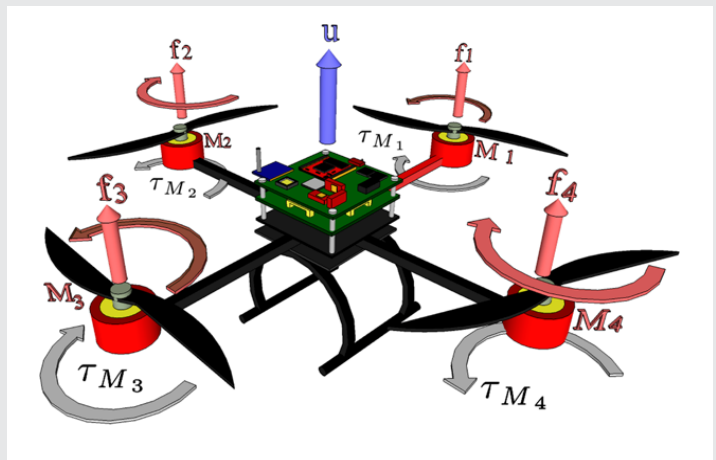


Figura 3. Entradas de control de un cadricoptero. (Carrillo et al., 2013).

En la Figura 3, se muestra que los motores  $M(i = 1, \dots, 4)$  producen una  $f^i = k^2$ . Dado que los motores solo pueden girar en una dirección, la fuerza  $f_1$  resultante siempre es positiva. El empuje principal es la suma de los empujes de cada motor. El torque en pitch está en función de la diferencia  $f_1 - f_3$ , el torque en roll depende de la diferencia de  $f_2 - f_4$ , y yaw es la suma de los torques  $\tau M^1 + \tau M^2 + \tau M^3 + \tau M^4$ , donde  $\tau M^i$  es la reacción del torque de cada motor debido a la aceleración y a las palas de arrastre como se muestra en la figura 4. El torque de cada motor es contrarrestado por el arrastre aerodinámico  $\tau_{drag}$ , tal como se define en la ecuación (18).

$$I_{rot} \dot{\omega} = \tau M_i - \tau_{drag} \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde  $I_{rot}$  es el momento de inercia del motor alrededor de su eje. El arrastre aerodinámico se define mediante la ecuación (19).

$$\tau_{drag} = \frac{1}{2} \rho A v^2 \quad \text{Ec. (19)}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire,  $A$  es el área de movimiento frontal y  $v$  es la velocidad relativa del aire, la velocidad  $\omega$  (ver 20) es igual a la velocidad lineal dividida por el radio de rotación.

$$\omega = \frac{v}{r_{rot}} \quad \text{Ec. (20)}$$

**Estrategia de control**

Se desarrolló e implementó un control de movimiento para el UAV, cuyo esquema se muestra en la figura 5, el cual se implementó en el sistema operativo multitarea Microsoft Windows®. Un sistema de control en cascada permite separar el control de posición del control de altitud.

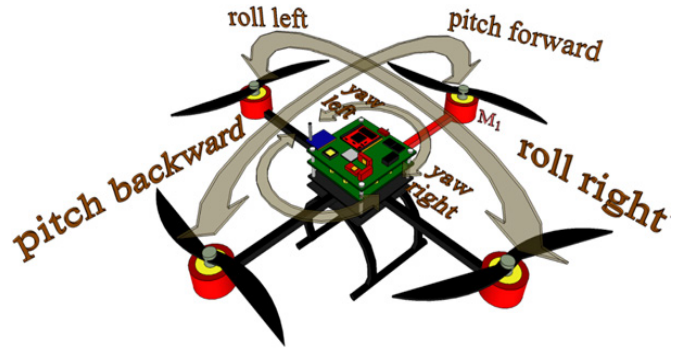


Figura 4. Torques en roll, pitch y yaw en un cuadricóptero. (Carrillo et al., 2013).

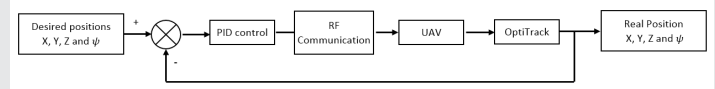


Figura 5. Diagrama general de control del cuadricóptero.

**Control PID**

La ley de control PID puede expresarse mediante la ecuación (21).

$$\tau = K_p \tilde{q} + K_v \dot{\tilde{q}} + K_i \int_0^t \tilde{q}(\sigma) d\sigma \quad \text{Ec. (21)}$$

donde  $\tilde{p}$  y  $\tilde{q}$  representan el error entre la posición deseada y la real  $\theta$ , las matrices  $K_p, K_v, K_i \in \mathbb{R}^{n \times m}$  corresponden a las ganancias (Higuera Rincón & Agüero Duran, 2013), en la Figura 6 se muestra el diagrama a bloques del PID.

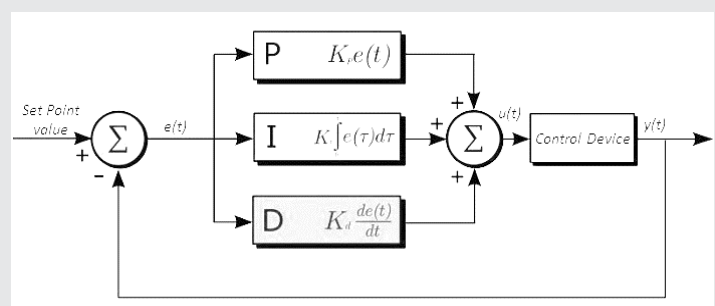


Figura 6. Diagrama de un controlador proporcional-integral-derivativo.

**Control PID de posición en Yaw**

El ángulo yaw es aquel que se genera alrededor del eje Z. Se diseñó un controlador para que el cuadricóptero se mantenga en un ángulo específico sobre el eje Z, definido mediante la ecuación 22.

$$\tilde{\tau}_{\psi} = -K_{p\psi} e_{\psi} - K_{v\psi} \dot{e}_{\psi} - K_{i\psi} \int_0^t e_{\psi}(t) dt \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde  $e_\psi = \psi - \psi_d$  es el error de posición en yaw,  $\psi_d$  es la posición deseada, y  $K_{p\psi}$ ,  $K_{v\psi}$  y  $K_{i\psi}$  son las ganancias constantes definidas positivas.

### Control PID de posición en el plano xy

Este controlador permite mover al UAV dentro de un punto en un plano xy del marco inercia referencial. Con el objetivo de implementar el controlador se requiere rotar el marco de referencia respecto al cuerpo rígido, de tal manera que el PID queda definido por la ecuación (23).

$$\tau = K_p R^T e + K_v R^T \dot{e} + K_i R^T \int_0^t e(t) dt \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde el torque se define como  $\tau = [\tau_\theta \ \tau_\phi \ \tau_\psi]^T \in \mathbb{R}^3$ , la ganancia proporcional es una matriz diagonal  $K_p = \text{diag}(K_{px}, K_{py}, K_{pz}) \in \mathbb{R}^3$ ,  $R$  es la matriz de rotación del modelo cinemático,  $e$  define el vector de error  $e = [x_d - x \ y_d - y \ z_d - z]^T$ ,  $K_v = \text{diag}(K_{vx}, K_{vy}, K_{vz}) \in \mathbb{R}^3$  define las ganancias de velocidad, y  $K_i = \text{diag}(K_{ix}, K_{iy}, K_{iz}) \in \mathbb{R}^3$  es la ganancia de integración para compensar el error en estado estacionario.

### Control PID con compensación de gravedad de altura en Z

Este controlador permite al UAV posicionarse en una altura deseada  $z$ , de tal manera que con el control en  $\psi$ , en  $xy$  y en altura se puede controlar el UAV de manera autónoma. El controlador PID de altura queda definido en la ecuación (24).

$$\tau = -K_{pz} \dot{e}_z - K_{iz} \int_0^t e_z(t) dt - mg \quad \text{Ec. (24)}$$

donde  $e_z = z_d - z$  es el error de posición en  $z$ ,  $z_d$  es la posición deseada  $K_{px}$ ,  $K_{vz}$ ,  $K_{iz}$  son ganancias,  $m$  es la masa del vehículo y  $g$  es la constante de gravedad.

### Plataforma experimental

Como plataforma experimental se utilizó un VANT de fabricación propia del tipo cuadricóptero en configuración "X" cuya estructura se diseñó y fabricó mediante impresión 3D en la empresa mexicana PH Devices R&D (ver Figuras 7 y 8).

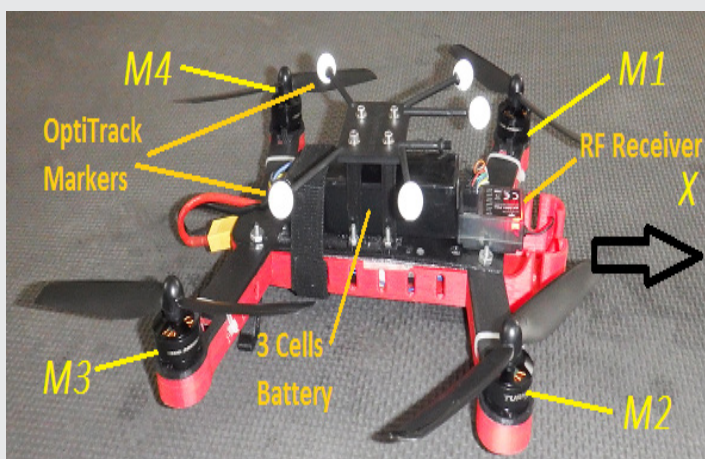


Figura 7. Cuadricóptero diseñado por la empresa PH Devices, vista frontal

Este cuadricóptero se equipó con un sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ, además se utilizó un sensor barométrico MS561101BA, finalmente, se equipó el VANT con un sistema de comunicación Bluetooth compatible con la interfaz serial RS-232 y un medidor de carga de batería, además de todos los elementos básicos de un UAV. Las características técnicas se enlistan a continuación:

- Controlador de vuelo Mini CC3D
- Transmisora Walkera Rx-2801 PRO
- ESC SN16AD V1.0
- Frame diseñada y construida en PH Devices
- Batería: LiPo de 3 celdas de 12 V
- Marcadores OptiTrack

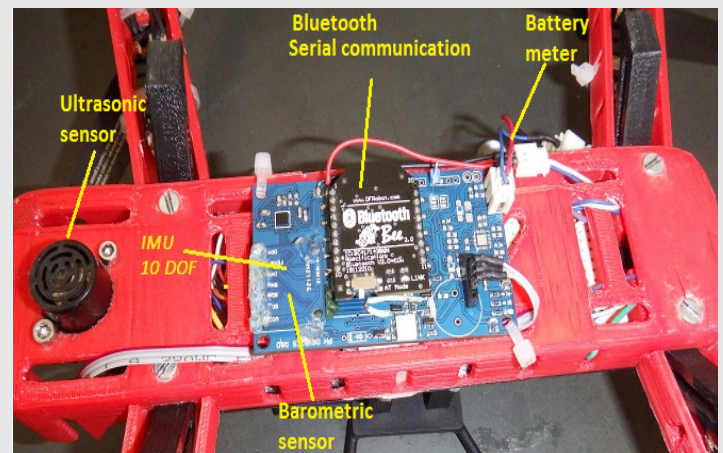


Figura 8. UAV diseñado por la empresa PH Devices, vista trasera

### Metodología de monitoreo y control propuesta

La metodología propuesta para el uso de sistema de visión consistió de cinco partes (ver figura 9).

- Obtener la posición y orientación del UAV con el sistema de visión Motive® de Natural Point Inc.
- Estimar la altura con un sensor ultrasónico.
- Estimar la altura con un sensor barométrico
- Obtener el error en la estimación de la altura respecto al sistema de visión
- Analizar los resultados obtenidos

### Obtención de la posición y orientación con Motive®

El sistema de captura Motive® de la marca Natural Point Inc., permite capturar el movimiento de un cuerpo rígido en el espacio. Este sistema de tiempo real, baja latencia y alta precisión utiliza una serie de cámaras que se colocan estratégicamente para capturar el área de interés.

El sistema de captura consta de seis cámaras del tipo Flex 13, cuyas principales características son: resolución 1.3 MP (1280x1024), 120 cuadros por segundo, USB 2.0, 28 LEDs y una latencia de 8.33 ms.



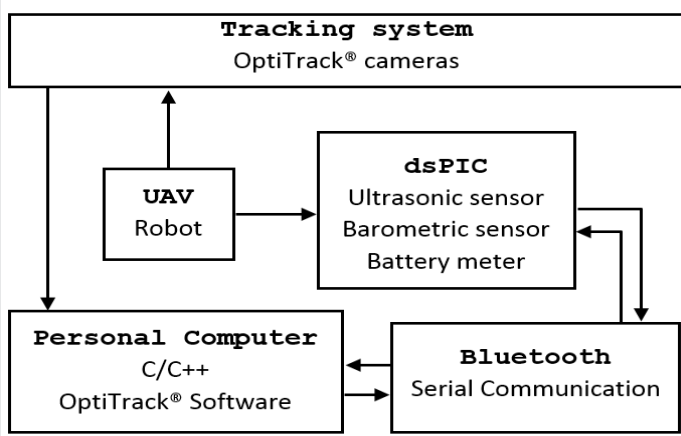


Figura 9. Metodología de control propuesta

La computadora que se utilizó para la captura tiene las siguientes características técnicas:

- Procesador Intel Core i7-4770
- Velocidad de procesador 3.40 GHz
- Memoria RAM 8 GB
- Sistema operativo Windows 7 SP1
- Arquitectura de 64 bits
- Tarjeta de video 1632 MB Intel HD Graphics 4600

Para realizar la obtención de la posición se utilizaron las bibliotecas `vrpn_Connection` y `vrpn_Tracker` de Natural Point que regresan al usuario la posición en los ejes X, Y y Z, así como las posiciones en cuaterniones que interpretan las posiciones angulares del objeto expresados con las ecuaciones (25), (26) y (27).

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{2q_1q_3 - 2q_0q_2}{1 - 2q_1^2 - 2q_2^2} \right) \quad \text{Ec. (25)}$$

$$\theta = \sin(2(q_0q_1 + q_2q_3)) \quad \text{Ec. (26)}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{2q_0q_3 - 2q_1q_2}{1 - 2q_0^2 - 2q_2^2} \right) \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde  $q_i, i=0, \dots, 3$  son los cuaterniones que regresa el servidor TCP/IP de Motive.

### Estimar la altura con el sensor ultrasónico

El sensor de Maxbotix EZ es un dispositivo de alto desempeño que puede detectar objetos a distancias de 0.25 a 6.45. Sus principales características se enlistan a continuación Maxbotix Inc (2015):

- Alimentación de 2.5 a 5 VDC
- Consumo de corriente de 2 a 5 mA
- 50 Hz de frecuencia de muestreo
- Operación en libre ejecución
- Frecuencia de operación de 42 kHz

La distancia se obtiene a partir de la lectura analógica mediante la ecuación (28).

$$d = (\text{lin}) \frac{512}{V_{cc}} V_{out} \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde  $d$  define la distancia que mide el sensor en metros,  $V_{cc}$  es el voltaje de alimentación del sensor

(3.3 VDC),  $V_{out}$  es la medición de la salida analógica del sensor. Se utilizó un microcontrolador de la marca Microchip dsPIC33EP256MU806, cuya lectura está definida por la ecuación (29).

$$V_i = \frac{N \times V_{ref}}{2^{n-1}} \quad \text{Ec. (29)}$$

Donde  $V_i$  se define como el voltaje de entrada en el canal analógico del ADC,  $N$  es la palabra de conversión,  $V_{ref}$  es el voltaje de alimentación 3.3 VDC y  $n$  corresponde a los 12 bits de resolución del convertidor analógico a digital.

$$d = \left( \frac{3.2V}{4095} \right) \left( \frac{512N}{3.3V} \right) = \frac{N}{8} [in] \quad \text{Ec. (30)}$$

Con las ecuaciones (30) y (31) se realiza la conversión a metros, mediante la cual se estima la altura del UAV en el dsPIC.

$$d = \frac{0.0254N}{8} [m] \quad \text{Ec. (31)}$$

### Estimación de la altura con el sensor barométrico

Se utilizó el sensor de presión barométrica MS561101BA de la marca Measurement Specialities (TE Connectivity, 2017), las principales características técnicas que tiene son las siguientes

- Módulo de alta resolución, 10 cm
- Conversión rápida de 1 ms
- Bajo consumo 1 uA
- Alimentación de 1.8 a 3.6 VDC
- Lectura de presión y temperatura de 24 bits, 10 a 1200 mbar y -40 a 85°C, respectivamente
- Comunicación SPI e I2C de hasta 20 MHz

Se realizó la estimación de altura a través de una relación de presión barométrica y compensación de temperatura ecuación (32).

$$A_{nm} = \frac{\left( \frac{P_{nm}}{P_c} \right)^{\frac{1}{5.257}} - 1}{0.0065} (T_c + 273.15) \quad \text{Ec. (32)}$$

Donde  $A_{nm}$  es la altura a nivel del mar,  $P_{nm}$  es la presión a nivel del mar,  $P_c$  es la presión medida, y  $T_c$  es la temperatura medida.

Con el objetivo de eliminar ruido, las señales enviadas a la PC de manera inalámbrica se procesaron mediante un filtro pasa-bajas, definido por la ecuación (33).

$$y[i] = y[i - 1] + \alpha(x[i] - y[i - 1]) \quad \text{Ec. (33)}$$

donde  $y[i]$  corresponde a la señal filtrada,  $x[i]$  es la señal sin filtrar,  $y[i-1]$  es una muestra anterior de la señal filtrada y  $\alpha$  define la atenuación del filtro.

### RESULTADOS

El primer controlador programado fue el del ángulo yaw a través del siguiente algoritmo.

1. Se calcula el error de posición angular yaw mediante la ecuación  $e_\psi = \psi - \psi_d$ .
2. Se calcula la integral del error.
3. Se calcula la derivada del error.
4. Se calcula la señal de control al resolver la ecuación (22), con las respectivas ganancias.

5. Se envía la señal de control al radio control por medio de un dispositivo USB que convierte la señal de control a una señal tipo PPM que permite la manipulación del control remoto a través del modo de entrenamiento.
6. Se repite el algoritmo con una frecuencia de 120 Hz.

En el Gráfico 1 se muestra la posición real del ángulo yaw contra la posición deseada (referencia 0). Como se muestra en la figura existe un error en estado estacionario para la prueba con duración de 60 segundos.

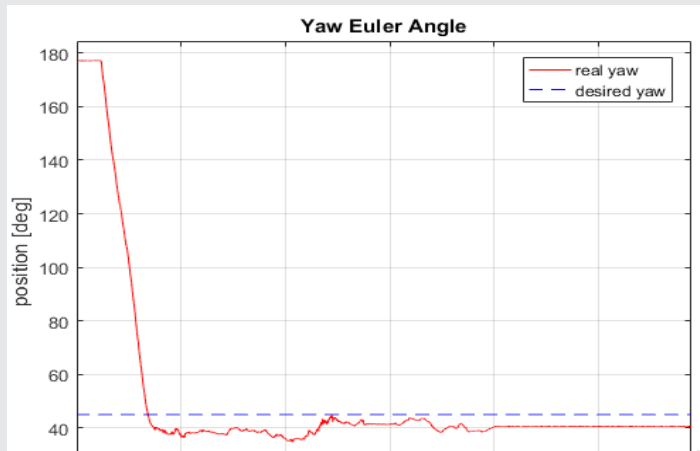


Gráfico 1. Resultados de la ley de control en yaw, deseada y real.

En el Gráfico 2 se muestra el error en grados, que en promedio se obtuvo de 5.

### Control en posición en xy

Los pasos a seguir para lograr el control de posición en el plano xy se enlistan a continuación:

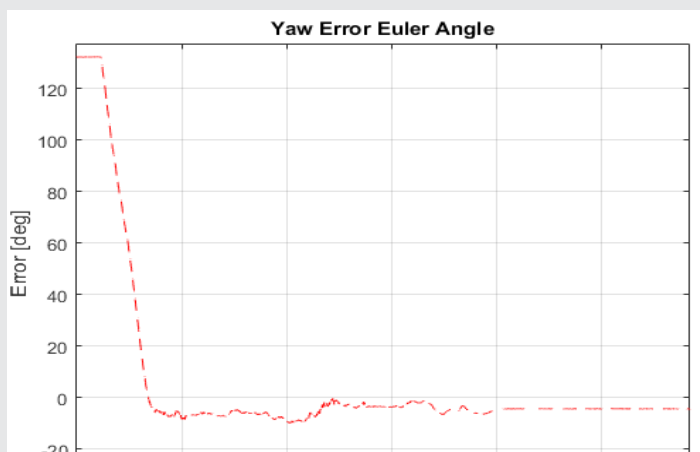


Gráfico 2. Error de control en Yaw.

1. Se calcula el vector de error de posición en (x y z) mediante la ecuación  $e=[x_{d-x} \ y_{d-y} \ z_{d-z}]^T$ .
2. Se calcula el vector de derivada del error de dimensiones 3x1.
3. Se calcula la integral del error y se anexa en un vector de 3x1

4. Posteriormente se procesa la matriz de transformación con las posiciones angulares actuales.
5. Se calcula la señal de control para roll y pitch que al final mediante la solución de la ecuación (23).
6. Esta señal de control se envía al UAV a través del modo de radio frecuencia.
7. Al final se repite este proceso cada 120 Hz.

El Gráfico 3 muestra la posición del UAV en el plano xy contra las posiciones deseadas. Se obtuvo un error promedio de 10 cm.

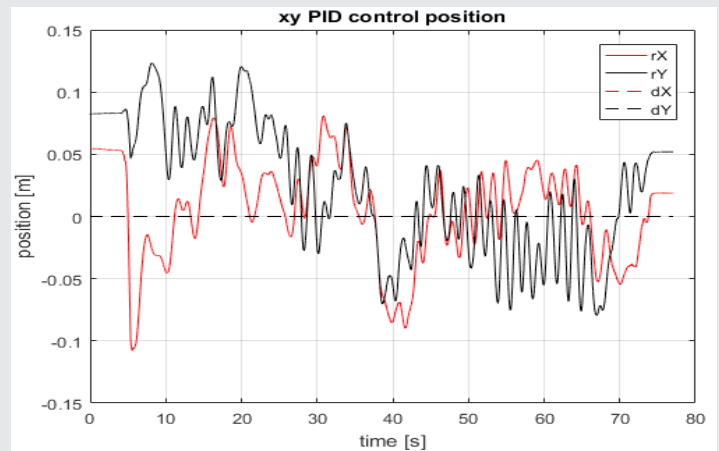


Gráfico 3. Resultados de error de posición XY con un controlador PID.

### Control de altura z

El controlador de altitud se implementó en 3 pasos. Primero se ejecutó una rutina para mantenerlo en hover con un perfil Spline con el objetivo de lograr una llegada suave con una velocidad que asegura la aceleración y desaceleración en los puntos iniciales y finales, en forma de S que se define mediante las ecuaciones (34) y (35).

$$x = \left[ -\frac{\sin\left(2\pi\frac{t-t_0}{t_b-t_0}\right)}{2\pi} + \frac{t-t_0}{t_b-t_0} \right] \quad \text{Ec. (34)}$$

$$\dot{x} = \left[ -\frac{\cos\left(2\pi\frac{t-t_0}{t_b-t_0}\right)}{t_b-t_0} + \frac{1}{t_b-t_0} \right] \quad \text{Ec. (35)}$$

Donde  $x$  es la posición,  $\dot{x}$  corresponde a la velocidad,  $t_b$  y  $t_0$  son el tiempo en el que se ejecuta la spline y el tiempo de inicio.

### Rutina para la posición en hover

Para la rutina de hover, se considera una escala en la señal de Throttle (acelerador) de un rango de -800 a 800, para ajustar 0 como motores detenidos, ochocientos mitad de la potencia y mil seiscientos toda la potencia de acuerdo a esto se permite definir la señal de control en función con la ecuación (36).

$$x = \left[ -\frac{\sin\left(2\pi\frac{t-t_0}{t_b-t_0}\right)}{2\pi} + \frac{t-t_0}{t_b-t_0} \right] - 700 \quad \text{Ec. (36)}$$

Mediante esta rutina se asegura que antes de ejecutar el control de posición para la altitud ya está en vuelo el VANT. Una vez que se ejecuta la rutina de hover se comienza con el control de PID de posición.

1. Se calcula la spline con un tiempo de convergencia de 14 a 40 segundos.
2. Se calcula el error de posición
3. Se calcula la derivada del error
4. Se calcula la integral del error
5. Se satura la señal para evitar que el UAV se eleve sin control.
6. Se calcula la señal de control y se satura, el término mg es un compensador de gravedad que en ese momento se coloca en 700 como la señal de hover, que en teoría ya se encuentra flotando y la gravedad ya no tiene acción.
7. Se repite el proceso con una frecuencia de 120 Hz.

En el Gráfico 4 se muestra el seguimiento de trayectorias para la altitud donde se aprecia que está en hover y el seguimiento de la trayectoria en z hasta alcanzar la referencia de 1 metro de altura. En el Gráfico 5 se muestra el error en estado estacionario utilizando el controlador.

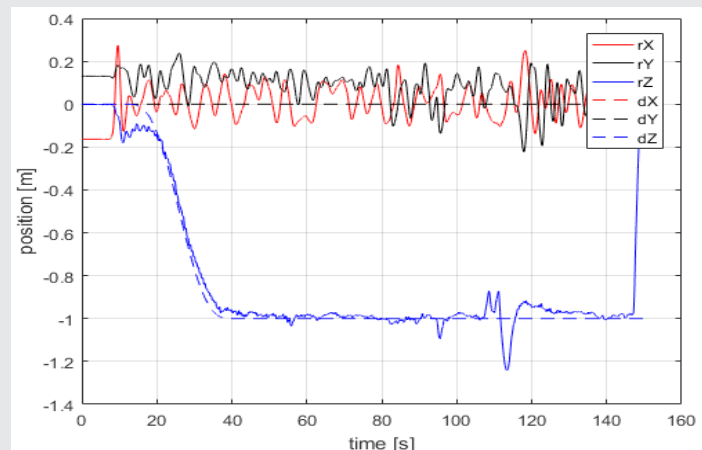


Gráfico 4. Control de altura PID

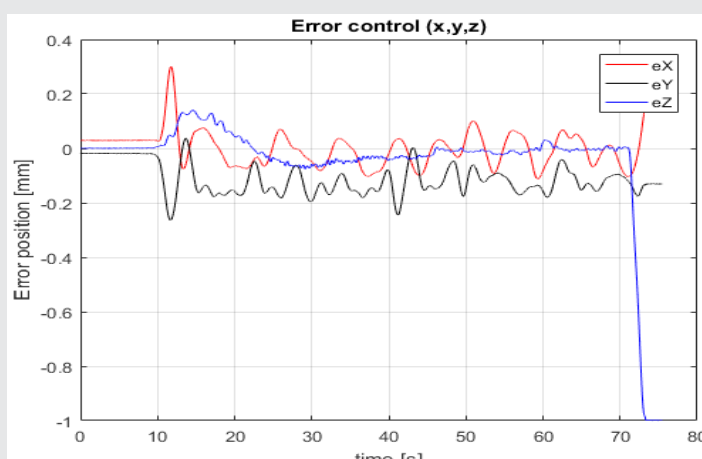


Gráfico 5. Señales del error del controlador PID en xyz.

**Error de estimación de altura**

En el Gráfico 6, se muestra el comportamiento para la estimación de altura con los 3 diferentes sensores probados. Para caracterizar el error se obtuvo la diferencia entre la señal de referencia (proveniente del sistema de visión) y las señales provenientes de cada uno de los sensores) para el eje Z. El error obtenido entre el sensor ultrasónico respecto al sistema de visión fue máximo de 5%, mientras que el sensor de presión respecto al sistema de visión fue máximo de 12%, antes de una etapa de filtrado.

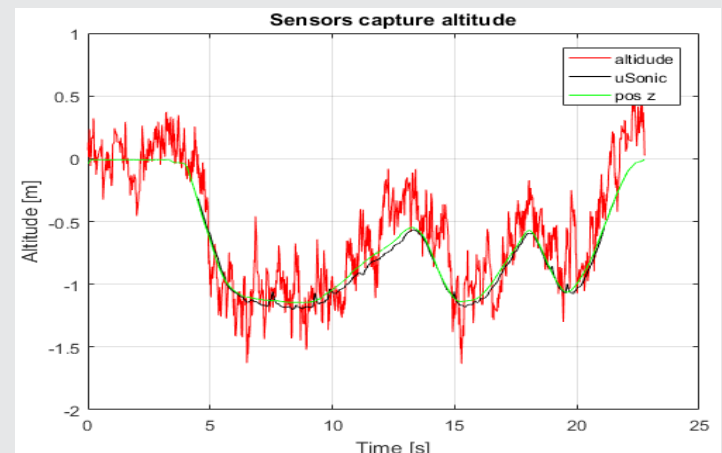


Gráfico 6. Estimación de altura con 3 sensores.

**CONCLUSIONES**

Se diseñó y desarrolló una plataforma experimental de vehículos aéreos no tripulados tipo cuadrotor para la evaluación de algoritmos de control mediante la utilización del sistema de visión para detección de movimiento OptiTrack de Natural Point Inc. Se realizó la calibración del sistema de visión que permite conocer la posición y orientación del VANT con una precisión de +0.5 cm, con lo cual se pudieron implementar leyes de control con retroalimentación a través de las cámaras OptiTrack, y se compararon los resultados obtenidos contra los estimados a mediante el uso de un sensor ultrasónico y de presión manométrica, con el objetivo de diseñar algoritmos de navegación para espacios interiores donde el GPS no es funcional. Los resultados obtenidos fueron un error máximo de 5% para el sensor ultrasónico y 12% para el sensor barométrico, con lo que se concluye que para navegación en interiores debe utilizarse el sensor ultrasónico para operaciones en donde se requiera mayor precisión, mientras para navegación en donde existe un mayor rango de movimiento puede utilizarse el sensor de presión. En trabajos posteriores se implementarán algoritmos de fusión de datos para mejorar la estimación y reducir el ruido.

**BIBLIOGRAFÍA**

[1] M. Blachuta, R. Czyba, J. Wojciech, and G. Szfranski, "Data Fusion Algorithm for the Altitude and

- Vertical Speed Estimation of the VTOL Platform,” *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 74, pp. 413–420, 2014.
- [2] D. Eynard, P. Vasseur, and C. Demonceaux, “Real time UAV altitude , attitude and motion estimation from hybrid stereovision,” *Auton. Robots*, vol. 33, pp. 157–172, 2012.
- [3] N. Gageik, P. Benz, and S. Montenegro, “Obstacle Detection and Collision Avoidance for a UAV With Complementary Low-Cost Sensors,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 599–609, 2015.
- [4] L. R. García Carrillo, A. E. Dzul López, R. Lozano, and C. Pégard, *Quad Rotorcraft Control. Vision-Based Hovering and Navigation.*, 1st ed. London: Springer-Verlag London, 2013.
- [5] L. R. Garcia Carrillo, E. A. López Dzul, R. Lozano, and C. Pégard, “Combining Stereo Vision and Inertial Navigation System for a Quad-Rotor UAV,” *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 65, pp. 373–387, 2012.
- [6] O. Higuera Rincon and C. E. Agüero Duran, “Xpider : Design and Development of a Low Cost VTOL UAV Platform,” *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–12, 2013.
- [7] K. Li, C. Wang, S. Huang, G. Liang, X. Wu, and Y. Liao, “Self-Positioning for UAV Indoor Navigation Based on 3D Laser Scanner , UWB and INS \*,” in *International Conference on Information and Automation*, 2016, no. August, pp. 498–503.
- [8] C. Martínez, I. F. Mondragón, and M. A. O. P. Campoy, “On-board and Ground Visual Pose Estimation Techniques for UAV Control,” *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 61, pp. 301–320, 2011.
- [9] I. F. Mondragón, M. A. Olivares-Méndez, P. Campoy, C. Martínez, and L. Mejias, “Unmanned aerial vehicles UAVs attitude , height , motion estimation and control using visual systems,” *Auton. Robots*, vol. 29, pp. 17–34, 2010.
- [10] H. Oh, D. W. S. Huh, D. Hyunchul, and S. M. Tahk, “Indoor UAV Control Using Multi-Camera,” *J. Intell. Robot. Syst.*, pp. 57–84, 2011.
- [11] P. Ramon Soria, R. Bevec, A. Begoña C., A. Ude, and A. Ollero, “Extracting Objects for Aerial Manipulation on UAVs Using Low Cost Stereo Sensors,” *Sensors*, vol. 16, pp. 1–19, 2016.
- [12] J. Santiaguillo-Salinas and E. Aranda-Bricaire, “Seguimiento de Trayectorias para un Helicóptero de 4 Rotores AR . Drone 2.0 utilizando ROS,” in *XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático, CLCA*, 2014.
- [13] G. Stamatescu, D. Popescu, and C. Mateescu, “Sensor Fusion n Method for Altitude Estimation in Mini-UAV Applications,” in *International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, 2015, pp. 4–7.
- [14] F. Wang, K. Wang, S. Lai, S. K. Phang, B. M. Chen, and T. H. Lee, “An Efficient UAV Navigation Solution for Confined but Partially Known Indoor Environments,” in *Conference on Control & Automation (ICCA)*, 2014, pp. 1351–1356.
- [15] T. Wang, C. Wang, J. Liang, Y. Chen, and Y. Zhang, “Vision-Aided Inertial Navigation for Small Unmanned Aerial Vehicles in GPS-Denied Environments Regular Paper,” 2013.
- [16] L. Yu, Q. Fei, and Q. Geng, “Combining Zigbee and Inertial Sensors for Quadrotor UAV Indoor Localization \*,” in *Conference on Control and Automation Hangzhou*, 2013.
- [17] Maxbotix Inc (2015). LV-MaxSonar – EZTM Series. [https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ\\_Datasheet.pdf](https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf)
- [18] TE Connectivity (2017). MS5611-01BA03 Barometric Pressure Sensor, with stainless steel cap. <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=MS5611-01BA03&DocType=Data+Sheet&DocLang=English>

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la empresa “PH Devices R&D S. A. de C. V.” que financió y permitió el desarrollo de este proyecto en sus instalaciones, a través de una estancia de investigación en vinculación con el departamento de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

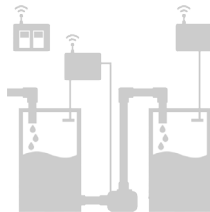


**Tierra,**  
*Medio Ambiente*  
**y Energía**

---

Ingeniantes

# Desarrollo de prototipo SCADA para controlar el nivel de agua en dos contenedores de agua



## Colaboración

Hugo Rojas Salgado; Eloy Cadena Mendoza; Juan Miguel Hernández Bravo; José Antonio Montero Valverde, Instituto Tecnológico de Acapulco

**RESUMEN:** La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), organismo que se encarga de procesar y llevar el agua potable a los habitantes del municipio de Acapulco, estima que del 100% de agua potable que se almacena en los tanques de almacenamiento y distribución, el 70% del agua se pierde por derrame en el contenedor y por fugas, debido a que no cuentan con un sistema de supervisión y control de bombas de agua eficiente, tal motivo nos ha impulsado a desarrollar y proponer un sistema prototipo de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) orientado al Internet de las Cosas, con la intención de formalizar y fundamentar la base para que en un futuro CAPAMA pueda apoyarse en él, para aplicarlo en sus tanques de agua reales, por lo que el prototipo simula la adquisición en tiempo real de los niveles de agua en los contenedores, así como también el control de la bomba de agua. Dado que por definición los sistemas SCADA se consideran como un software para el acceso de datos remotos y que por sus características son ampliamente utilizados en la industria de la automatización para la adquisición de datos, por lo que en el presente artículo se aborda el desarrollo de un sistema SCADA utilizando componentes orientados al Internet de las Cosas.

**PALABRAS CLAVE:** HTML5, Interfaz gráfica, MQTT, SCADA, Sensor ultrasónico, Aplicación de una Sola Página, Tiempo real.

**ABSTRACT:** The Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), an organism that is responsible for processing and bringing drinking water to the inhabitants of the municipality of Acapulco, estimates that of 100% of potable water that is stored in the storage tanks and distribution, 70% of the water is lost by spill in the container and by leakage, because they do not have a system of supervision and control of efficient water pumps, this motive has driven us to develop and to propose a system prototype of Supervision, Control and Data Acquisition (SCADA) oriented to the Internet of things, with the intention to formalize and base the foundation so that in a future CAPAMA can be supported in it, to apply it in their real water tanks, so the prototype simulates the acquisition in times Of the water levels in the containers as well as the control of the water pump. Since SCADA systems are defined by definition as a software for remote data access and which by their characteristics are widely used in the automation industry for data acquisition, so this article addresses the development of a SCADA system using components oriented to the Internet of things.

**KEYWORDS:** HTML5, Graphic interface, MQTT, SCADA, Ultrasonic sensor, Single Page Application, Real time.

## INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se aborda el desarrollo de un prototipo de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), que es un software para acceder a datos remotos a través de componentes electrónicos de automatización, para visualizar información en tiempo real de sensores y actuadores. El proyecto se propone a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA) paraestatal del estado de Guerrero encargada de distribuir y proveer agua potable a los ciudadanos del municipio de Acapulco, con el objetivo de medir, supervisar y controlar los niveles de agua en dos contenedores que simulan ser los tanques de almacenamiento y distribución, debido a que en la actualidad registran pérdidas de agua potable muy significativas, por lo que para el desarrollo se pretende utilizar componentes de bajo costo y orientados al "hardware libre", así como también software de desarrollo de "código libre", para que en

futuro pueda utilizarse en las instalaciones de sus tanques de agua reales y pueda sobre todo evitar pérdidas de agua.

### ANTECEDENTES

En el año de 1993 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) designó el 22 de marzo como el día mundial del agua, con la finalidad de difundir cada año un mensaje de concientización para la conservación y el correcto uso del agua en todo el mundo, para el año 2018, adopta un lema que lleva por nombre "Naturaleza para el agua" con el objetivo de promover investigaciones y acciones que exploran las diferentes formas en las que la naturaleza puede ayudar a la población a enfrentar los desafíos en materia del agua en el siglo XXI [1].

Por lo que en el año 2018 en México y con la finalidad de tener un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, se aplica el Plan Nacional Hídrico, en el cual uno de los objetivos dice "Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector" [1].

El último estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), titulado; "Gobernanza del agua en las ciudades" [2], informa que México tiene 8 ciudades de 42 ciudades encuestadas, que representan los más altos índices de desperdicio de agua, entre ellos Acapulco por el elevado porcentaje de pérdida de agua por la contaminación, infraestructura deficiente y obsoleta.

En el municipio de Acapulco el organismo encargado de procesar y llevar el agua potable a sus habitantes, además de subsanar el alcantarillado es la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA). [3]

En CAPAMA alrededor del año 2002 se implementó por patrocinio de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Comisión de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Guerrero (CAPASEG) un sistema denominado SCADA del inglés Supervisory, Control and Data Acquisition y traducido al español como Supervisión, Control y Adquisición de Datos, en alrededor de 53 sitios de tanques distribuidos en todo el municipio de Acapulco, pero de esa fecha a la actual, el paso del tiempo ha generado el colapso de la vida útil de los sensores; como los sensores de nivel de agua, de temperatura y humedad, además otro factor que ha ocasionado inconvenientes al sistema es el deterioro ocasionado por la naturaleza, como; la salinidad, la corrosión de los materiales y la falta de mantenimiento en la mayoría de los sitios. Cabe hacer mención que también la destrucción de infraestructura material en los sistemas SCADA provocada por el vandalismo, la rapiña o averías técnicas en la comunicación han ocasionado el incorrecto funcionamiento en los tanques de almacenamiento y distribución de CAPAMA, en donde se encuentra el sistema.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los responsables de CAPAMA estiman que del 100% de agua potable que se almacena en un tanque de almacenamiento y distribución de agua potable, el 70% del agua se pierde por derrame en el contenedor y por fugas, debido a que no cuentan con un sistema eficaz y eficiente que supervise los niveles de agua y administre el control de las bombas.

Ha habido intentos por reparar y rehabilitar los sistemas SCADA, en los sitios en donde no funcionan, más sin embargo no se ha podido por que el sistema es desarrollado por una empresa privada; por tal motivo no se tiene acceso a los diagramas electrónicos, ni al código del software para adaptarlo y escalarlo, además el costo de reimplementación por cada sitio es muy alto.

Por otra parte existe el problema que no se puede invertir, en la adquisición de componentes electrónicos para rehabilitar el sistema SCADA, o en su defecto adquirir nuevos sistemas de monitoreo de nueva generación pues representan un costo elevado.

Dado que en la actualidad la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA), tiene implementado SCADA en 53 sitios, de los cuales solo 2 sitios están en funcionamiento con dicho sistema, si no se resuelve el control de las bombas, supervisado y la adquisición remota de los niveles de los sensores de nivel de agua, se seguirá desperdiciando mucha agua potable.

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Por lo tanto en el presente artículo se propone desarrollar un prototipo SCADA para contralar el nivel de agua en dos contenedores para su uso futuro en la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Municipio de Acapulco, la intención fundamental de este prototipo es formalizar y fundamentar la base en la cual CAPAMA se pueda apoyar para aplicarlo en sus tanques de agua reales.

El prototipo propuesto simula los requerimientos básicos de CAPAMA para la supervisión, control y adquisición de datos de sus tanques de almacenamiento y distribución, por lo tanto los requerimientos son los siguientes:

- El prototipo simula dos contenedores de agua potable, uno simula ser el tanque de almacenamiento y el otro de distribución, cada tanque simula tener un sistema SCADA que enviará la información de los niveles de los tanques, así como los parámetros de humedad, temperatura y amperaje, cuando el tanque de almacenamiento tenga más del 70% de agua y el tanque de distribución tenga menos del 20% y esté activado el control automático la bomba funcionará hasta llenar el tanque de distribución como se puede observar en

la Figura 1, cuando por alguna circunstancia se requiere el control manual se ofrece la opción de apagar o encender la bomba a medida de la decisión que se tome con base a los niveles de los tanques de agua capturado por los sensores.

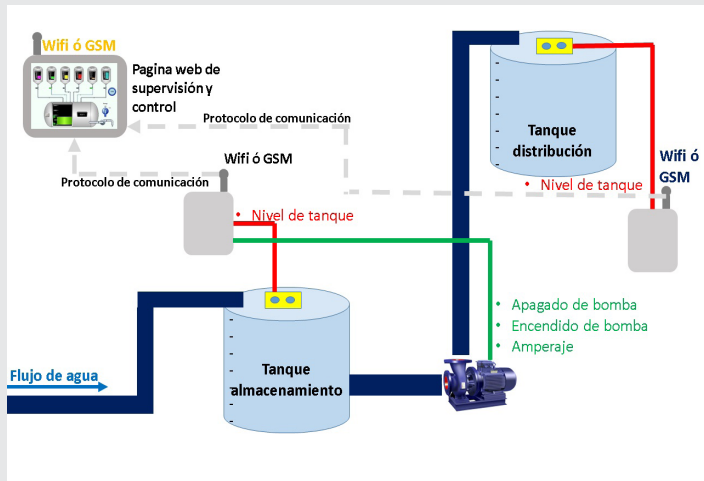


Figura 1. Bosquejo general de funcionamiento de los tanques del prototipo.

- Se requiere diseñar y desarrollar un sistema para supervisar, controlar y adquirir la información de los niveles de agua en los tanques en tiempo real así como la obtención de otros parámetros como el amperaje consumido por la bomba, la humedad y temperatura del tanque enviados a una página web para consultar la información y tomar decisiones como lo puede observar en la Figura 1. Utilizando para su construcción componentes de bajo costo, orientados al Internet of Things (IoT), traducido al español como Internet de las cosas, dado que existe un antecedente acerca de la diseminación de esta tecnología en México [4] aprovechando la integración de la telemetría con sensores especializados para el control de la calidad de agua en las redes de distribución, utilizando tecnologías como Arduino, Raspberry Pi y cloudino para transferir información a la nube.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para desarrollar el prototipo SCADA, se consideró trabajar en paralelo el desarrollo del sistema embebido prototipo electrónico, junto con el diseño del software interfaz web que muestra la información en tiempo real, como el flujo de la metodología orientada al diseño de sistemas embebidos clásica lo sugiere [5], para una mejor verificación, depuración e integración de ambas partes.

Por lo que por consiguiente las siguientes herramientas fueron utilizadas para su desarrollo:

- Enterprise Architect 12.
- Fritzing 0.9.3.
- Visual Studio Code con el plugin de Arduino.
- Visual Studio 2017.

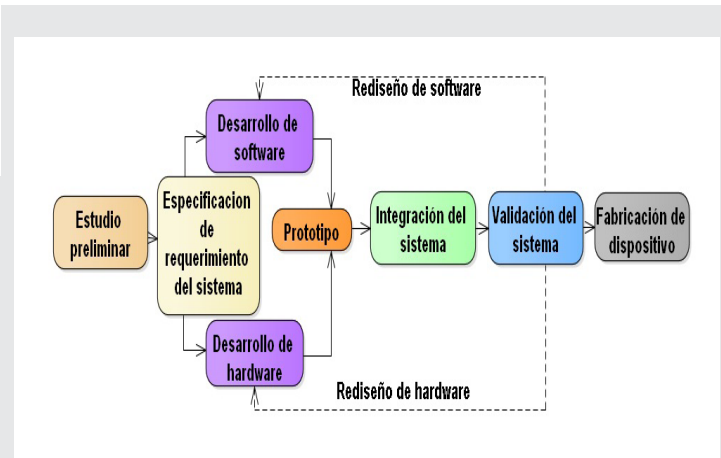


Figura 2. Metodología de diseño de sistemas embebidos clásica

Para empezar el desarrollo se contemplan primeramente los requerimientos de sistema, y estos se anotan en el documento de requerimientos como dice [6], con base en las necesidades de la empresa y haciendo un análisis de la problemática que se requiere resolver; en este caso, para que posteriormente se modelen mediante una herramienta de lenguaje de representación gráfica descriptiva, denominado Unified Modeling Language (UML) traducido al español como Lenguaje Unificado de Modelado con la finalidad de describir gráficamente una serie de comportamientos del sistema que puede interpretar un programador para desarrollar el sistema, éstos modelos son como “los planos arquitectónicos en los que se desarrollará el software” [6], los modelos que se desarrollaron en el presente estudio y que atienden a las necesidades de desarrollo de sistemas embebidos [7] son: modelo de clase de dominio, modelo de caso de uso, modelo de secuencia, modelo de interacción, modelo de máquinas de estado y modelo de negocios desarrollado con la aplicación Enterprise Architect 12, Figura 3, a la par también se desarrolló el diagrama electrónico del sistema; considerando los componentes electrónicos para atender a las necesidades del requerimiento del sistema, y el material consta de lo siguiente:

- 2 Sensores ultrasónicos HC-SR 04.
- 1 Router Linksys.
- 2 Interruptores termomagnéticos.
- 1 Mini contactor de 18A industrial.
- 1 Mini Relevador de 18A industrial.
- 1 Sensor de corriente alterna 30A no invasivo.
- 1 Relevador de 5v.
- 1 Sensor DHT 11.
- 1 Intel Galileo Gen 2.

En este apartado cabe hacer mención que una de las consideraciones más relevante, a la hora de elegir los componentes fue utilizar una microcomputadora de propósito general en vez de un microcontrolador de uso específico, dado que en la actualidad las microcomputadoras ofrecen mayor rendimiento para su costo be-



neficio y están orientadas a procesar múltiples tareas mucho más rápidas y con mayor eficiencia en comparación con un microcontrolador [8], por lo que se eligió la microcomputadora Intel Galileo.

del agua en tiempo real, y la bomba de rebombeo de agua de un contenedor a otro, ver Figura 6, estos dispositivos son conectados al resultado del prototipo de la Figura 4.

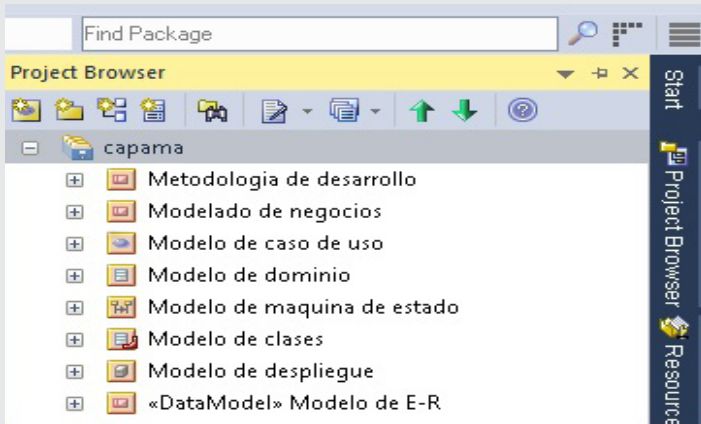


Figura 3. Modelos del sistema SCADA desarrollados en la herramienta de Enterprise Architect 12.

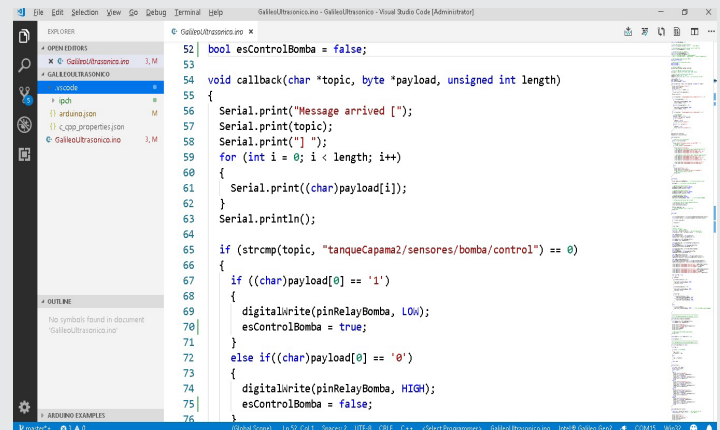


Figura 5. Editor de código Visual Studio Code con el firmware de la Intel Galileo para sistema SCADA

**RESULTADOS**

Una vez considerada como concluida la etapa de modelado del sistema y de los materiales y herramientas elegidas, se procede a desarrollar el prototipo, uniendo los componentes electrónicos de acuerdo al diagrama electrónico generado en la etapa de modelado del sistema prototipo SCADA, obteniendo como resultado la Figura 4.

Para las operaciones de comunicación e intercambio de información de tiempo real entre el prototipo SCADA electrónico de la Figura 4 y el software aplicación web que muestra la información de tiempo real mediante gráficos de la Figura 10, se utilizó el protocolo MQTT del inglés Message Queuing Telemetry Transport y traducido al español como Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes, es un protocolo de tipo M2M del inglés Machine to Machine, traducido al español como máquina a máquina, que está orientado al Internet de las Cosas, es muy ligero y se maneja sobre la capa de aplicación, está recomendado para la industria en el uso de los sistemas SCADA, además es un protocolo especificado y estandarizado por el consorcio OASIS y el ISO/IEC 20922 en el año 2016. También ofrece varios mecanismos de seguridad y es muy robusto y flexible en áreas en donde las redes de comunicaciones sobre el protocolo TCP/IP manejan altas latencias [9].

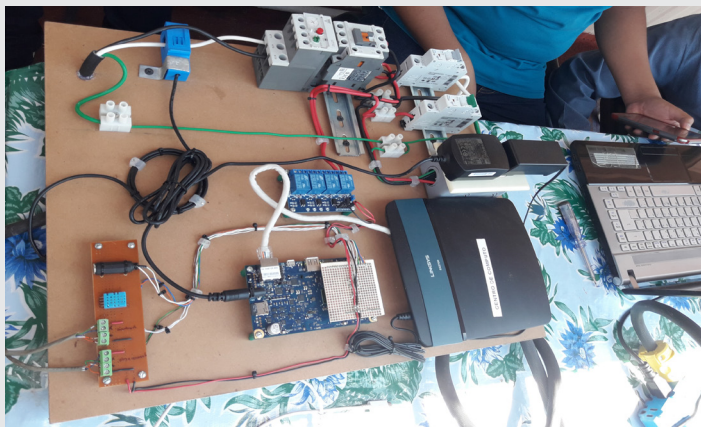


Figura 4. Resultado de la elaboración de prototipo electrónico SCADA

Para la parte de la aplicación web que muestra gráficos con información de los niveles de los contenedores en tiempo real así como de los demás parámetros especificados en el modelado del prototipo SCADA, se desarrolló la aplicación utilizando el .NET Framework con la tecnología de ASP.NET Core, utilizando el concepto de desarrollo de las SPA (Single Page Application) o aplicaciones de una sola página la cual ofrece mayor rendimiento y su carga en el navegador es mucho más rápido, dado que ya no se hacen peticiones directamente al servidor para cargar todo el DOM (Document Object Model) de HTML, es decir que este concepto utiliza llamadas asíncronas mediante AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) o basada en WebSockets para actualizar únicamente las partes necesarias en el DOM de HTML, por lo que, para su uso en aplicaciones de nueva generación que muestran información de tiempo real es recomendado [10].

Para el desarrollo del firmware se utilizó la herramienta de Visual Studio Code con el plugin de Arduino ver Figura 5 para cargarlo en el sistema operativo de la microcomputadora Intel Galileo Gen 2, utilizando para su programación como lenguaje base C, para dotar al prototipo de las operaciones y comportamientos que tiene que realizar con base en los requerimientos del sistema.

También se muestran los contenedores de agua potable, simulando los requerimientos del sistema, con sus respectivos sensores ultrasónicos para medir el nivel



Figura 6. Descripción gráfica de los contenedores de agua y la bomba de rebombeo de agua

En el desarrollo de la aplicación se utiliza las librerías del protocolo MQTT para obtener los datos de los sensores ultrasónicos del nivel de agua y los de los demás sensores especificados en los requerimientos del sistema, también se utiliza WebAPI y SignalR de ASP.NET Core para guardar la información capturada por los sensores y almacenarla en una base de datos no relacional como MongoDB, en la Figura 7 puede observar el conjunto de tecnologías utilizadas en el desarrollo, tanto para la parte del back-end como para el front-end.

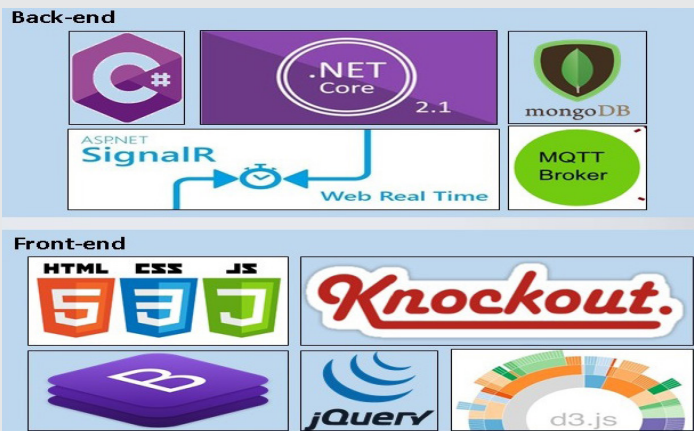


Figura 7. Pila de tecnologías utilizadas en el desarrollo de la aplicación web del sistema SCADA

Para la parte de la arquitectura y diseño de la aplicación en la Figura 8 puede observar la segmentación física del proyecto, aplicando el patrón MVVM (Model View View-Model) mediante la librería de Knockout JS y la arquitectura de una aplicación de Single Page Application [10].

Como resultado del desarrollo de la aplicación web se tiene las siguientes interfaces gráficas del sistema SCADA.

- Página de inicio de sesión para ingresar al sistema SCADA, la funcionalidad es introducir las credenciales de un usuario autorizado dado de alta en la base de datos del sistema, para acceder y controlar el sistema SCADA ver Figura 9.

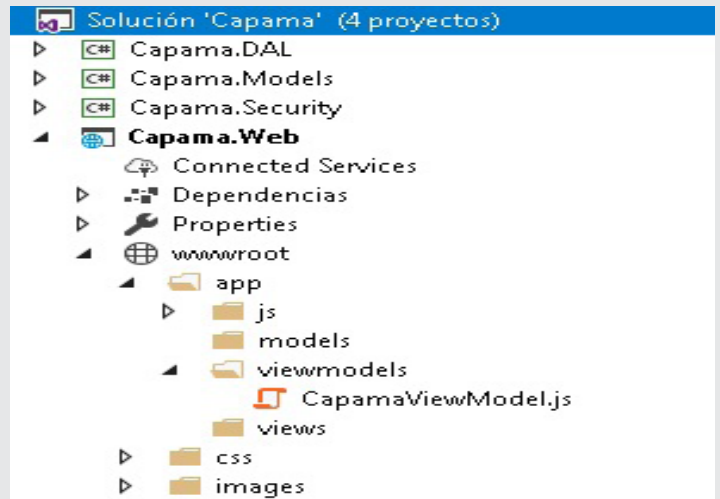


Figura 8. Arquitectura física del proyecto SCADA y uso del patrón MVVM.

- Si el usuario está autenticado y autorizado, la página de inicio mostrará la funcionalidad principal del sistema SCADA, esto es, que muestra un mapa con dos gráficos de contenedores que muestran información de tiempo real, en este caso; el nivel del líquido simulado de los contenedores; información enviada por los sensores ultrasónicos, como lo muestra la Figura 10 que inicializan vacíos e inmediatamente empiezan a mostrar la información del nivel del líquido Figura 11, información enviada a través por el protocolo MQTT y capturada por los sensores ultrasónicos [9]. Además el usuario puede seleccionar el icono del tanque, en este caso el tanque # 1 y puede visualizar en una ventana modal los datos de los datos adquiridos por el tanque, como la temperatura, la humedad y el nivel del líquido en tiempo real como puede apreciar en la Figura 12 y además como se aprecia en la Figura 13 también puede manipular el tipo de operación; manual o automática, cuando la operación es manual la bomba de rebombeo de agua se manipula conforme a la decisión del operador, cuando está en modo automático, cuando el tanque de rebombeo de agua tiene más del 70% de contenido de agua y el tanque de distribución tiene menos del 10% o igual el sistema automáticamente toma la decisión de bombear el agua, las opciones antes mencionadas se aprecian en la Figura 13.

- Otra funcionalidad que ofrece el sistema SCADA es contener una página de registro de los usuarios que pueden acceder al sistema ver Figura 14. Cuando un usuario se encuentra registrado puede acceder en la ventana de inicio de sesión del sistema SCADA ver Figura 9.

- La última funcionalidad que ofrece el sistema SCADA es el registro de los tanques (ver Figura 15) que tiene como finalidad llevar un registro de los tanques del sistema, ya que está información es requerida para guardar la información en la base de datos sobre la adquisición de los datos de los sensores relacionados al tanque registrado.



Figura 9. Página de inicio de sesión para ingresar al sistema SCADA.

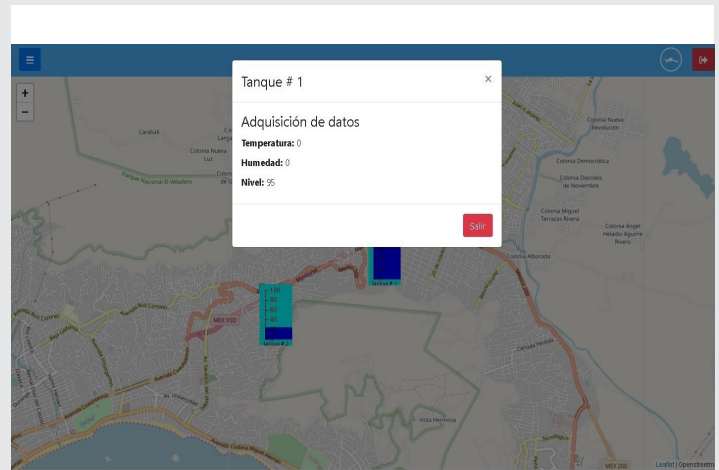


Figura 12. Adquisición de datos del tanque 1 seleccionado, visualiza información de tiempo real como temperatura, humedad y nivel de líquido.

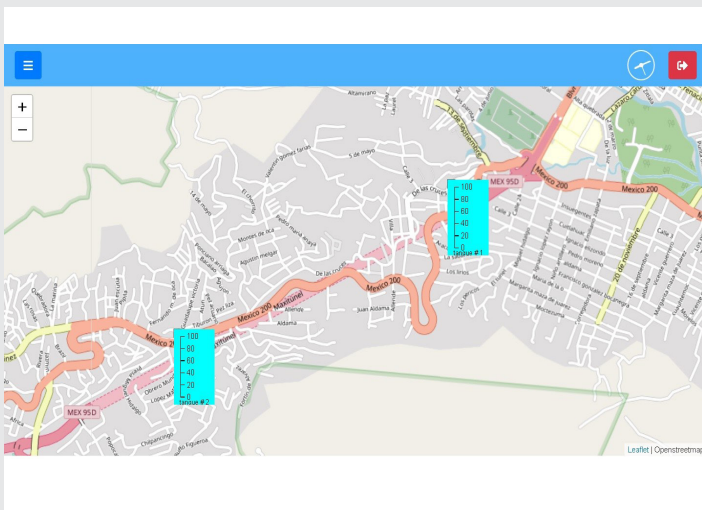


Figura 10. Página principal que muestra dos contenedores del sistema SCADA.

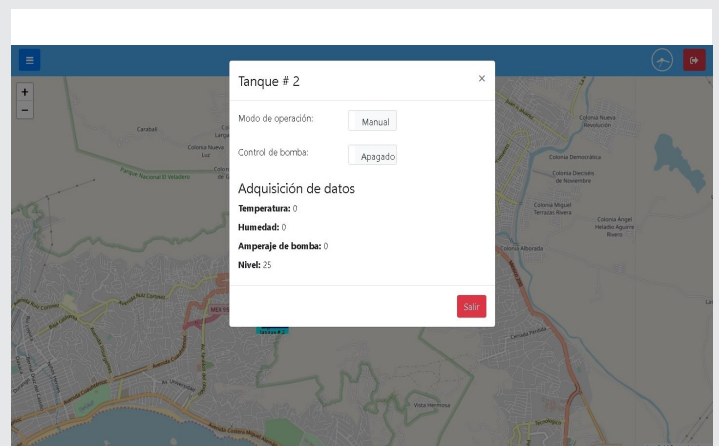


Figura 13. Adquisición de datos del tanque 2 seleccionado, visualiza información de tiempo real como temperatura, humedad y nivel de líquido, además ofrece el control de encendido y apagado de la bomba, así como el modo de operación.

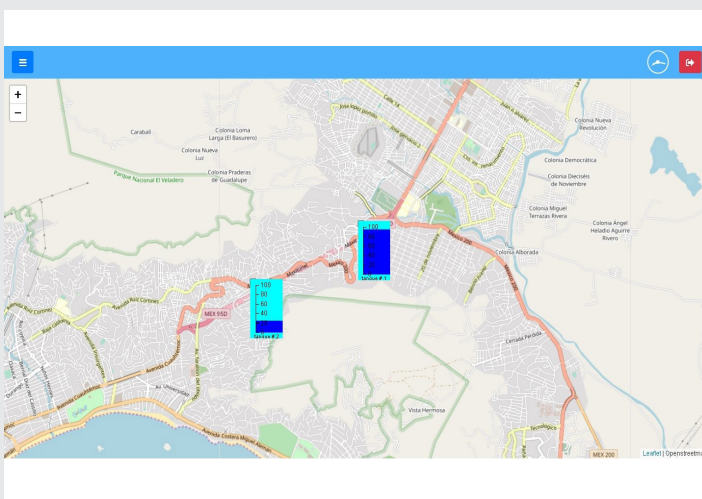


Figura 11. Página principal que muestra información de tiempo real del nivel del líquido de los contenedores.

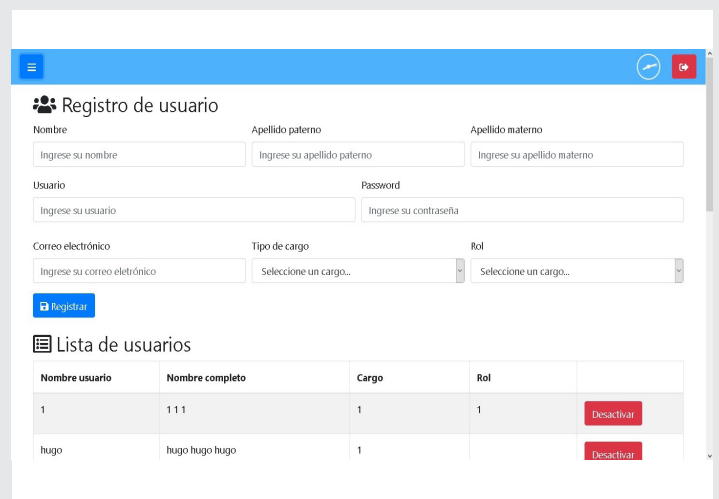


Figura 14. Página de registro de usuario para ingresar al sistema SCADA.

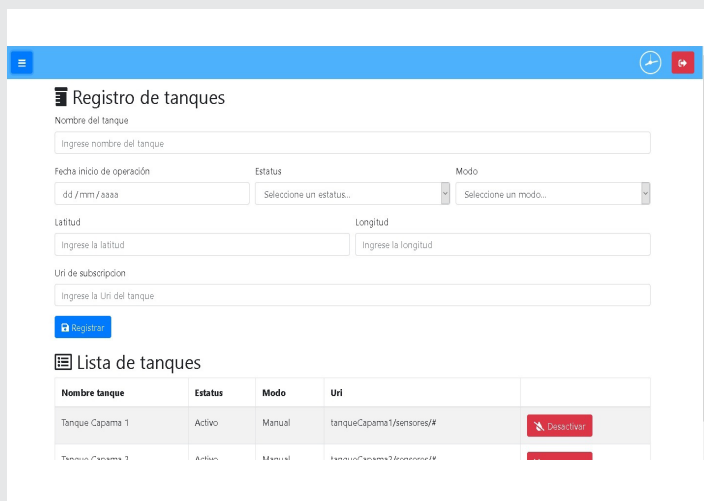


Figura 15. Página de registro de tanques del sistema SCADA.

## CONCLUSIONES

En la presentación de la funcionalidad y operación del prototipo SCADA a los directores responsables de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA) se demostró que utilizando componentes electrónicos de bajo costo orientados al Internet de las Cosas y hardware open-source, así como herramientas de nueva generación para desarrollar software y utilización de patrones de diseño de software, también como repositorios repletos de librerías de desarrollo de software que simplifican el tiempo de codificación y la abundante documentación de éstas, se pueden construir sistemas de supervisión, control y adquisición de datos de tal manera que tenga un gasto mínimo significativo en la compra de los componentes electrónicos y en el software ya que no se pagan licencias de uso, en términos generales el prototipo puede llevarse a la implementación de un tanque real utilizando el mismo software y protocolo de comunicación, así como la misma tarjeta de desarrollo Intel Galileo, pero con diferentes sensores de nivel de agua, por lo que se recomienda un tipo de sensor industrial y aditivos mínimos en la interfaz electrónica.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Comisión Nacional del Agua. "El día Mundial del Agua", [gob.mx](http://gob.mx), 2019. [Online]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/el-dia-mundial-del-agua?idiom=es>. [Accessed: 14 de Abril 2019].

[2] OECD. "Water Governance in Cities", *OECD Studies on Water*, 2016. [Online]. Disponible en: [https://read.oecd-ilibrary.org/governance/water-governance-in-cities\\_9789264251090-en#page39](https://read.oecd-ilibrary.org/governance/water-governance-in-cities_9789264251090-en#page39). [Accessed: 14 de Abril 2019].

[3] Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco. "Acerca de CAPAMA

Nuestra historia", [capama.gob.mx](http://capama.gob.mx), 2019. [Online]. Disponible en: <http://www.capama.gob.mx/historia>. [Accessed: 14 de Abril 2019]

[4] V. Tzatchkov y J. Rodríguez Varela, *DISEMINACIÓN DE TECNOLOGÍA EUROPEA DE REDES INTELIGENTES DE AGUA POTABLE EN MÉXICO HC1609.1 Informe final, 1ra edición*. México: IMTA. Coordinación de Hidráulica. Subcoordinación de Hidráulica Urbana, 2016, pp. 3-6.

[5] F. Ghenassia, *Transaction Level Modeling with SystemC TLM Concepts and Applications for Embedded Systems, 1ra edición*. France: Springer, 2005, pp. 1-7.

[6] H. Deitel and P. Deitel, *Cómo programar en C#, 2da edición*. México: Pearson Educación, 2007, pp. 9-15.

[7] O. Haugen, B. Moller-Pedersen and T. Weigert, "Introduction to UML and the Modeling of Embedded Systems", *Embedded Systems Handbook*. Taylor & Francis Group, United States of America, pp. 1-33, 2006.

[8] M. de Sousa, *Internet of Things with Intel Galileo Employ the Intel Galileo board to design a world of smarter technology for your home, 1ra edición*. Birmingham, UK.: Packt Publishing Ltd., 2015, pp. 1-9.

[9] G. Hillar, *MQTT Essentials - A lightweight IoT Protocol The Preferred IoT publish-subscribe lightweight messaging protocol, 1st ed*. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017, pp. 29-80.

[10] E. Scott, *SPA Design and Architecture Understanding single-page web applications, 1st ed*. New York, EU.: Manning Publications Co., 2016, pp. 3-184.



**Tierra,**  
*Medio Ambiente*  
**y Energía**

---

Ingeniantes

# Evaluación de Puntos Críticos Aplicado al Proceso de Empaque de Lima Persa.

**RESUMEN:** La región de Martínez de la Torre, Veracruz, depende económicamente de la producción y exportación de Lima Persa debido a la calidad de la fruta.

Por lo que un adecuado tratamiento de inocuidad y calidad de Lima Persa en las plantas empacadoras de cítricos es de vital importancia, ya que la disponibilidad de buena calidad alimentaria es un reclamo a nivel nacional e internacional. La inocuidad alimentaria se puede entender como la importancia de medidas que reducen los riesgos. El objetivo del estudio fue implementar un análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) en el Proceso de Empaque de Lima Persa en una Empacadora de la región, para conocer la forma de operación de cada parte del proceso de tratamiento postcosecha e identificar el Modo y Efecto de Fallo, por consiguiente determinar los puntos críticos de control y tomar las acciones correctivas en cada área para un aseguramiento de la calidad e inocuidad de la fruta.

Se realizó el análisis de riesgo para cada operación de acuerdo a la frecuencia de severidad, la ocurrencia y detección de fallas, posteriormente se calculó el número de riesgo, y se obtuvo como resultado con número de riesgo mayor la operación de sanitizado y túnel de secado, ya que presentan más de un modo de falla potencial, por la cual se genera ineficiencia en la desinfección, hongos y deshidratación que afectan directamente la inocuidad y la calidad de la Fruta, por lo que como acción correctiva se incluyó un Sistema de Control Automatizado.

**PALABRAS CLAVE:** AMEF, Proceso de empaque, Lima Persa.



## Colaboración

Rosalía Aguirre Solano; Priscila González Rosales,  
Instituto Tecnológico Superior de Misantla

**ABSTRACT:** The region of Martínez de la Torre, Veracruz, depends economically on the production and export of Persian Lima due to the quality of the fruit.

So an adequate treatment of innocuousness and quality of Persian Lima in citrus packing plants is of vital importance, since the availability of good food quality is a national and international claim. Food safety can be understood as the importance of measures that reduce risks. The objective of the study was to implement an analysis of Mode and Effects of Failure (AMEF) in the Packing Process of Lima Persa in a packinghouse in the region, to know the way of operation of each part of the post-harvest treatment process and identify the way and Effect of Failure, therefore determine the critical control points and take the corrective actions in each area for an assurance of the quality and innocuousness of the fruit.

The risk analysis was performed for each operation according to the frequency of severity, the occurrence and detection of faults, the risk number was subsequently calculated, and the operation of sanitizing and drying tunnel was obtained as a result with a higher risk number. , since they present more than one mode of potential failure, which generates inefficiency in disinfection, fungi and dehydration that directly affect the safety and quality of the fruit, so as corrective action was included an Automated Control System .

**KEYWORDS:** AMEF, Packaging process, Persian Lima.

## INTRODUCCIÓN

Derivado de los esfuerzos internacionales para hacer frente Existe una creciente necesidad por parte de la industria alimentaria mundial y los consumidores de mantener altos estándares de calidad, que permitan el acceso a alimentos cada vez más inocuos [1].

Esta tendencia no solo posee un enfoque dirigido al mejoramiento de la salud pública.

La importancia de mantener parámetros estrictos que garanticen la calidad de los sistemas productivos y los alimentos manufacturados se vislumbra cada vez más palpable, ya que se considera que las alteraciones en las condiciones de calidad e inocuidad de los alimentos es uno de los problemas de salud pública distribuidos a nivel mundial de forma muy amplia [2].

El crecimiento esperado de la población humana a un valor cercano a los nueve billones de personas para el 2050 permite predecir que la inocuidad alimentaria será un parámetro importante en las próximas décadas, que incidirá en el mejoramiento de los índices y de las políticas de salud, así mismo, influirá en el crecimiento económico de los países, principalmente en aquellos en vías de desarrollo [3].

Las técnicas de análisis de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden representar un impacto adverso para una instalación o planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo. El principio de cualquier estudio de riesgo, está basado en encontrar respuesta a tres interrogantes: 1) ¿Qué puede salir mal? 2) ¿Qué tan frecuente es? y 3) ¿Cuáles son sus efectos?, analizando y entendiendo la respuesta a estas preguntas, podemos entender los riesgos y diseñar mejores acciones para la prevención y control [4].

La importancia de diseñar un análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) para empacadoras de Lima Persa radica en el potencial que tiene este sector agrícola, ya que México es uno de los líderes exportadores de este producto, el cual ha aumentado considerablemente en los últimos años, siendo Estados Unidos de Norteamérica el principal receptor del producto seguido por Europa y Japón. La citricultura es una actividad económica relevante ya que en materia de empleos genera 70 mil empleos directos, 250 mil indirectos y 28 millones de jornales cada año, y más de 67 mil familias de productores son beneficiadas con esta actividad [5].

Por lo que esta herramienta permite hacer un análisis del estado actual del proceso en la que debido a fallas y deficiencias se afecte el funcionamiento de la operación y por ende la satisfacción del cliente, mismas que generan mayores gastos o pérdidas económicas cuantiosas.

El análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) es una herramienta sistemática para evaluar los modos de falla y las causas asociadas con los procesos de di-

seño y manufactura de un nuevo producto. En ella se hace una lista de los modos de falla potenciales de cada componente o sub-ensamblaje y se le asigna a cada uno una calificación numérica para la frecuencia de ocurrencia, el aspecto crítico y la probabilidad de detección. Por último, estas tres cifras se multiplican.

Para obtener el número de prioridad de riesgo (NPR), que se utiliza para guiar el esfuerzo de diseño al problema más crítico. Los casos con los más altos valores de NPR deben ser considerados primero a fin de recomendar acciones específicas con la intención de reducir la ocurrencia de las fallas [6].

Por lo que en conjunto con el diseño de esta técnica se proponen alternativas de acciones correctivas a ejecutar para la mejora del proceso, en las cuales se contemplan acciones básicas de supervisión y control por parte del encargado de cada área, así como opciones más avanzadas de sistemas de control automatizado mediante instrumentación virtual que permite obtener información en tiempo real y controlar las variables intrínsecas al proceso, además de que se prevé un impacto económico meramente exploratorio ya que con la automatización de ciertas áreas del proceso la inversión económica es mayor, pero el retorno de la inversión se reflejará paulatinamente, al no incurrir en indemnizaciones, aumento de la eficiencia de los procesos que por ende se reflejara en un aumento de la producción.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en una línea de proceso de empaque de Lima Persa ubicada en el Municipio de Martínez de la Torre, Ver.

Las empacadoras citrícolas tienen como principales mercados de exportación a Estados Unidos de América, Europa y Japón, la cual este fruto fresco es transformado en subproductos en otras plantas de proceso, es el cítrico que ofrece más beneficios a la salud, pues ayuda a combatir naturalmente más de 200 enfermedades.

Su poder curativo, radica en el balance entre bajo contenido energético, nivel equilibrado de Sodio y Potasio y una gran aportación de Vitamina C. Otros usos, anticasca, blanqueador de manos, quita manchas de óxido, etc.

La metodología utilizada en este trabajo se muestra en el siguiente esquema la cual aparece en la basta bibliografía de ingeniería industrial, por citar [3]. Nótese que una buena definición de la intención del diseño juega un papel importante en este proceso para poder identificar los modos de falla y sus efectos, lo cual permite una toma de decisión en base a las recomendaciones resultantes.

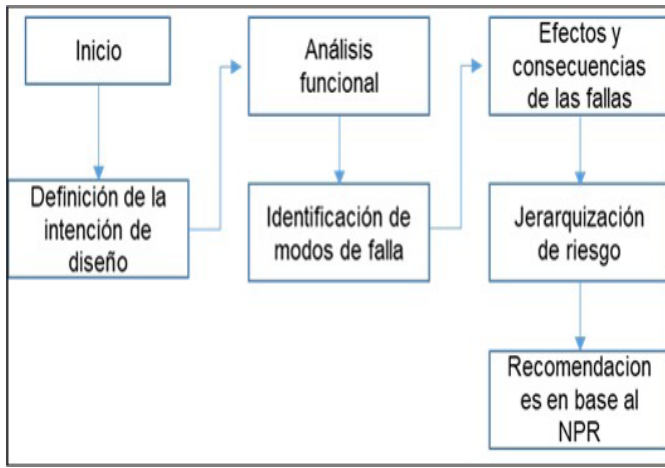


Figura 1. Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos (AMEF).

## Definición de la intención de diseño

Para el análisis de modos de falla y sus efectos, AMFE (FMEA), la definición de la intención de diseño del sistema o equipo en análisis es altamente recomendable, ya que para poder entender como falla un activo, primero es necesario conocer cómo opera [7].

## Análisis funcional

El análisis funcional es necesario para poder entrar al proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe. Se requiere identificar tanto la función principal como las secundarias.

## Identificación de Modos de falla

Un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función o, en otras palabras, la forma en que un activo falla.

A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, dentro del proceso de Administración del Riesgo estas acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc., o bien, como en este caso, donde el objetivo del AMEF es diseñar un plan de acciones recomendadas, a cada modo de falla le corresponderá una tarea.

## Efectos y consecuencias de la falla

Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo, ya sea local o en otra parte del sistema, estas manifestaciones pueden ser: aumento / disminución de nivel, mayor / menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, entre

otras; similarmente, se considera también la sintomatología de la falla, ruido, aumento de vibración, etc.

## Jerarquización del riesgo

El proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, resultante de la combinación de la frecuencia de ocurrencia por sus consecuencias, nos sirve para las acciones de recomendación, tanto en la etapa de evaluación como en la aplicación de los recursos económicos y humanos.

Tabla 1. Categorización de severidad. ([https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion.](https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion))

Ranking	Efecto	Criterio: Severidad de efecto definido
10	Peligroso: Sin aviso	Puede poner en peligro al operador, modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá sin aviso.
9	Peligroso: con aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá con aviso.
8	Muy alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100 % del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificado y una porción desechado. Ítem operable pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción probablemente deba ser desechada. Ítem operable, pero algunos ítems de comforts/ conveniencia inoperable. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100 % del producto probablemente retrabajada. Peo algunos ítems de confort/ conveniencia operable a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción .
4	Muy bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera d ela estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

Tabla 2. Categorización de ocurrencia. ([https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion.](https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion))

Ranking	Posibles fallas	Probabilidad de falla	Cpk
10	1 en 2	Muy Alto.	< 0.33
9	1 en 3	Falla es casi inevitable.	0.33
8	1 en 8	Alta: Generalmente asociada con procesos similares a proceso previos.	0.51
7	1 en 20	Fallado frecuentemente.	0.67
6	1 en 80	Moderada: Generalmente asociados con procesos similares a procesos previos.	0.83
5	1 en 400	Que han experimentado fallas.	1.00
4	1 en 2,000	Ocasionales, pero no es proporciones significativas.	1.17
3	1 en 15,000	Baja: fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1.33
2	1 en 150,000	Muy baja: solo fallas aisladas con procesos caso idénticos.	1.5
1	1 en 1,500,000	Remota: Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos.	1.67



Tabla 3. Categorización de detección. ([https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion.](https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion))

Ranking	Detección	Criterios: Probabilidad que la existencia de un defecto será detectada por la prueba conducida antes de que el producto avance al siguiente paso o proceso subsecuente.
10	Casi imposible	Prueba detecta < 80% de fallas.
9	Muy remota	Prueba debe detectar 80% de fallas.
8	Remota	Prueba debe detectar 82.5% de fallas.
7	Muy bajo	Prueba debe detectar 85% de fallas.
6	Bajo	Prueba debe detectar 87.5% de fallas.
5	Moderado	Prueba debe detectar 90% de fallas.
4	Altamente moderado	Prueba debe detectar 92.5% de fallas.
3	moderado	Prueba debe detectar 95% de fallas.
2	Muy alto	Prueba debe detectar 97.5% de fallas.
1	Casi seguro	Prueba debe detectar 99.5% de fallas.

Los criterios para la ponderación de la categoría de frecuencia de severidad, de ocurrencia y detección de los modos de falla, son los mostrados en la Tabla 1, 2 y 3. Para estimar el grado de afectación, se debe de tomar en cuenta el efecto de la falla en el cliente.

**RESULTADOS**

La metodología propuesta fue aplicada a una Empacadora de Lima Persa, cuyo diagrama de flujo de proceso se muestra en la Figura 2. El proceso de Empaque de Lima Persa, está conformada por los siguientes sistemas:

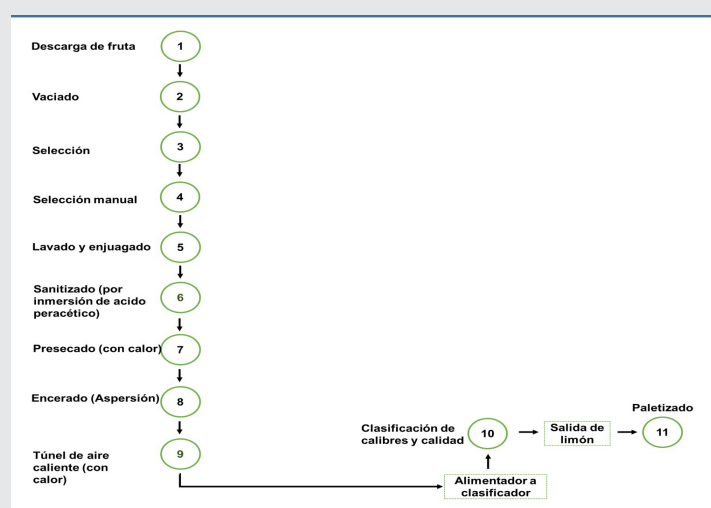


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de empaque de Lima Persa. Elaboración propia.

**Listado de operaciones del proceso**

1. La Lima Persa después de ser cosechada es trasladada en contenedores o camiones de las empacadoras, la cual ingresa de inmediato al área de recepción de fruta; donde se deja reposar aproximadamente 8 horas para disminuir la humedad de la fruta, posteriormente está listo para su proceso de tratamiento.

2. Área de vaciado; Se coloca el limón a la máquina para iniciar con su corrida.

3. Área de Torreón donde se descarta el limón que no cumple con la calidad de exportación debido a su diámetro.

4. Primera selección; se selecciona el limón manualmente teniendo 5 operadores, donde se descarta la fruta que no cumple con la calidad según el destino de exportación.

5. Lavado y enjuague; pre lavados para quitar los residuos de tierra, pesticidas o cualquier otro residuo adherido al limón.

6. Sanitizado; El limón entra a una tina de inmersión por aproximadamente 2 min, el cual la desinfección se realiza mediante la concentración de ácido peracético o cloro según el mercado de destino con 800 Lts de agua.

7. Presecado; el limón pasa por unos ventiladores para ser secado por aire a temperatura ambiente.

8. Encerado, la fruta es encerada, por medio de un dosificador automatizado.

9. Túnel de secado; la fruta pasa por el túnel para ser secada con aire caliente, mediante una llave de paso de gas.

10. Clasificación por calibres; la fruta se clasifica automáticamente por medio de un sizer para ser distribuida de acuerdo a su calibre (110, 150, 175, 200, 250), misma operación donde se pesan las cajas de 40 libras o se almacena limón para 10 libras.

11. Armado de pallets; se acomodan las cajas en pallets y ya están listas para ser enviadas a su destino.

A continuación, se describen las fases del proceso de empaque que se tomaron en cuenta para realización del Análisis de Modos y Efectos de Fallo, considerando que solo se incluyeron las áreas que presentan deficiencias en la operación.

- 1A. Vaciado de Limón
- 1B. Primera selección
- 1C. Enjabonado.
- 1D. Enjuague.
- 1E. Sanitizado.
- 1F. Túnel de secado.
- 1G. Sizer.
- 1H. Pesado.

**Análisis funcional**

Las funciones identificadas como resultado del análisis funcional para el proceso de empaque de Lima Persa son las que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis funcional. (Elaboración propia.)

N°	Funciones	N°	Falla funcional
1	Tiempo excesivo de vaciado.	1.1.1	Descontrol de tiempo del operador.
2	Se pasan limones segunda, tercera y con material vegetativo.	1.1.2	Los operadores no seleccionan adecuadamente el limón.
3	El jabón no se esparce de manera uniforme sobre la fruta.	1.1.3	Fuga de agua por un extremo de la jabolera.
4	El limón sale con residuos de jabón.	1.1.4	Los cepillos tienen exceso de jabón.
5	Se tapan los orificios de los aspersores.	1.1.5	Falta de presión del sistema.
6	El limón sale con residuos de jabón.	1.1.6	Se llena de hojas el desagüe.
7	Paros del proceso.	1.1.7	El diámetro de la llave estacionaria es pequeño.
8	Se ensucia muy rápido el agua.	1.1.8	La fruta llega con suciedad y material vegetativo.
9	No se seca totalmente la fruta.	1.1.9	Se presenta humedad existencial relativa.

### Identificación de modos de falla

Los modos de falla son identificados para cada falla funcional, pudiéndose tener el caso de que varios modos de falla originen la falla funcional. La etapa de los modos de falla, es la columna vertebral de la metodología de AMEF.

Tabla 5. Modos de falla. (Elaboración propia.)

Modos de falla			
Función general: Empaque de Lima Persa.	Modo potencial de falla	Observaciones causas potenciales/ mecanismos de la falla.	
1	1A	Tiempo excesivo de vaciado	Descontrol del tiempo del operador.
2	1B	Se pasan limones de segunda, tercera, y material vegetativo.	Los operadores no seleccionan adecuadamente el limón.
3	1C	El jabón no se esparce de manera uniforme sobre la fruta.	Fuga de agua por un extremo de la jabolera.
4	1D	El limón sale con residuos de jabón.	Los cepillos tienen exceso de jabón.
		Se tapan los orificios de los aspersores.	Falta de presión del sistema.
5	1E	El desagüe se tapa.	Se llena de hojas el desagüe.
		Paros del proceso.	El diámetro de la llave estacionaria es pequeño.
6	1F	Se ensucia muy rápido el agua.	La fruta llega con suciedad y material vegetativo.
		No se seca totalmente la fruta	Se presenta humedad existencial relativa.
7	1G	Se mezclan los calibres 110, 150, 230 con 250.	No se puede nivelar la temperatura de secado.
8	1H	Las cajas con fruta no pesan lo mismo.	Basculas descalibradas.

### Efecto de las fallas.

Tabla 6. Efectos de las fallas. (Elaboración propia.)

Modo de fallo	Efecto(s) potencial(es) de falla	Modo potencial de falla
1A	Espacios muertos entre los rodillos.	Tiempo excesivo de vaciado.
1B	Se afecta producto terminado.	Se pasan limones segunda, tercera y con materia vegetativo.
1C	La fruta queda con residuos de tierra	El jabón no se esparce de manera uniforme sobre la fruta.
1D	Se afecta la desinfección de la fruta.	El limón sale con residuos de jabón.
	Se tira el agua.	Se tapan los orificios de los aspersores.
1E	Tiempo excesivo de llenado	Paros del proceso.
	No se desinfecta la fruta.	Se ensucia muy rápido el agua.
1F	Se crean hongos en la fruta.	No se seca totalmente la fruta.
	La fruta se deshidrata.	
1G	La caja puede contener menos o mas kg del peso ideal.	Se mezclan los calibres 110 y 150, 230 con 250.
1H	Insatisfacción de clientes.	Las cajas con fruta no pesan lo mismo.

### Jerarquización del riesgo

La jerarquización del riesgo tiene como finalidad identificar aquellos modos de falla que tienen un mayor impacto en la satisfacción del cliente. La jerarquización, mencionada en la metodología, consiste en calificar la frecuencia de severidad, la ocurrencia y la detección con que se presentan las fallas, por sus consecuencias, en este caso, el valor mayor de la categoría de consecuencia, es el mandatorio basándose en el número de prioridad del riesgo. Los resultados de la calificación de frecuencia por consecuencia y su jerarquización se muestran en la Tabla 7.

Además, se definen las abreviaturas y la fórmula del cálculo del NPR.

Donde:

Sev = Severidad del riesgo

Occu = Probabilidad de ocurrencia

Detec = Probabilidad de detección

NPR = Numero de prioridad de riesgo (S × O × D).

Tabla 7. Jerarquización de riesgo. (Elaboración propia)

S e v	Causa(s) Mecanismos de la falla	Potencial(es) / O c c u	D e t e c	N P R	Acción (es) Recomendada (s)
1	Descontrol de tiempo del operador.	9	1	9	Contratar un operador mas. Implementar una banda de impulso para el vaciado de rejás.
8	Los operadores no seleccionan adecuadamente el limón.	6	7	336	Controlar la velocidad de los rodillos de acuerdo a la calidad proveniente del campo. Asignar dos operadores adicionales.
8	Fuga de agua por un extremo de la jabolera.	9	4	288	Realizar mantenimiento del dispensador de la jabolera. Implementar un sistema automatizado.
8	Los cepillos tienen exceso de jabón.	7	2	112	Dar Mantenimiento programado.
	Falta de presión del sistema.	8	1	64	Implementar un sistema de filtrado para los aspersores. Adaptar mas aspersores.
1	Se llena de hojas el desagüe.	7	2	14	Adaptar una malla a la bandeja en la filtración de agua. Retirar las hojas cada 300 rejás de Limón.
1	El diámetro de la llave estacionaria es pequeño.	8	5	40	Cambiar la llave por otra de mayor diámetro. Implementar un sistema de filtrado y recirculación del agua.
10	La fruta llega con suciedad y material vegetativo.	10	8	800	Aumentar la inspección (mas personal). Implementar un sistema de control de sanitizado.
8	Se presenta humedad existencial relativa.	9	6	432	Implementar un sistema de control de secado.
8	No se puede nivelar la temperatura de secado.	9	4	288	Implementar un sistema de calentamiento eléctrico. Implementar una fotocelda.
7	La forma del limón es diferente.	9	2	126	Realizar una inspección visual continuamente.
8	Basculas descalibradas.	8	7	336	Calibrar las basculas.

### DISCUSIÓN FINAL

Conforme a los resultados obtenidos, se identificaron modos de falla que requieren mayor atención dado su nivel de riesgo.

En las tablas mostradas 5 y 6 se pueden apreciar que la operación de enjuague, sanitizado y túnel de secado presentan más de un modo de falla potencial, donde se puede observar que existen fallos relacionados con el funcionamiento del proceso de la fruta y otros con el funcionamiento de la máquina, por lo que los efectos de fallo con mayor relevancia son los relacionados directamente con el proceso de la cadena de

valor de la fruta ya que impactan en la salud y bienestar del cliente, en la tabla 6 se puede observar que los efectos son; la ineficiencia en la desinfección ocasionados por falta de control en el área de Sanitizado, hongos y deshidratación de la fruta por ineficiencias en el túnel de secado.

En la tabla 7 se puede observar con color verde los modos de fallo que no repercuten en la calidad de la fruta como producto empacado, pero si afectan el tiempo de corrida del proceso e incluso afectan la seguridad de los trabajadores por lo que se incurre en gastos excesivos, entre los que podríamos mencionar pago por horas extra y gastos médicos por algún accidente de trabajo.

Los de color amarillo pueden llegar a generar sin frecuencia insatisfacción de clientes, sin llegar a perjudicar económicamente si se atiende de inmediato la queja.

El color rojo representa las operaciones de alerta y se consideran puntos críticos de control ya que estos efectos de falla pueden llegar a dañar la salud de los clientes, por lo que en estas operaciones el control debe ser muy estricto y apegado a los lineamientos (SENASICA) Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, además de que en el área de Sanitizado específicamente se afecta al medio ambiente con la descarga de efluentes a la red municipal (SEMARNAT) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Por lo que para estas últimas operaciones con número de prioridad de riesgo mayor y que son identificadas con el color rojo, se recomienda diseñar sistemas de control automatizados basados en instrumentación virtual para asegurar el control de las variables involucradas en su valor deseado y que se pueda monitorear en tiempo real, con estas acciones se pueden evitar indemnizaciones, mala reputación de la empresa, reclamos y rechazos de la fruta por parte de los clientes.

## CONCLUSIONES

- La metodología de Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF), es una herramienta que evita el cuello de botella en el proceso de planeación de acciones correctivas en cada una de las áreas, por lo que se debe entender claramente y aplicar por personal con suficiente experiencia.

- AMEF, es una metodología simple, que de forma clara y concisa nos permite entender la forma en la que opera un sistema, pero sobre todo la forma en la que falla.

- Se identifican las mejores oportunidades para la aplicación de mejoras en los procesos.

- Aunque existen versiones abreviadas del AMEF, éste debe ser particular y específico para cada instalación o fases del proceso.

- En el proceso de análisis deben participar expertos en todas las disciplinas involucradas, personal con conocimientos de las disciplinas de análisis de riesgo, procesos de producción, inocuidad, mantenimiento entre otras.

- Las acciones recomendadas que se pueden aplicar por parte de la Empresa Citrícola pueden ser implementando mantenimiento preventivo y correctivo, acciones de supervisión incurriendo en una mínima inversión, por otra parte, también se pueden implementar sistemas automatizados que benefician en gran medida debido a su exactitud en la operación y que no requiere aumento de personal o una mayor inspección a lo que la inversión será mayor.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Todt O. *Entre demanda social y regulación: la seguridad alimentaria. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad.* 2012;10(4):183-95.

[2] Maldonado, Ronald. *Herramientas estadísticas de la calidad para la diagnosis: estudio de un caso en la industria de productos cárnicos.* Octubre, 2007. Caracas, Venezuela.

[3] Miliotis M. *Role of microbial risk assessment in food safety.* S Afr Med J. 2007;97(11):1211-4.

[4] Aguilar-Otero, José R. *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad.* 2010. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C Monterrey, México.

[5] Rodríguez Cynthia, Mendoza Alberto (2014) *Una amenaza para la citricultura mexicana. La ciencia y el hombre. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, Vol. XX-VII, núm. 1. Enero-abril 2014, México*

[6] Soin S (1997) *Control de Calidad Total. Claves, Metodologías Administración para el Éxito.* McGraw-Hill. Caracas, Venezuela. 305 pp.

[7] Cartin- Rojas A, Villarreal Tello A, Morera A. *Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual.* Rev Med Vet. 2014;(27):133-148.

[8] *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales (AMEFs) Primera Edición Publicada en Febrero, 1993* <https://es.scribd.com/doc/111321077/AMEF-Tercera-edicion>.

# Vehículos impulsados con residuos: un análisis del gas natural renovable como estrategia climática en México



## Colaboración

Edgar Roberto Sandoval García, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

**RESUMEN:** Ante la problemática global del cambio climático, México propuso impulsar el uso del gas natural como una de las principales medidas para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Dado el escenario actual de destinar las reservas nacionales de gas natural convencional y las importaciones incrementales de gas de lutita a los sectores clave del país - generación de electricidad e industria - resulta poco probable que se cumpla la estrategia de incrementar el consumo de gas natural como principal medida de mitigación para uno de los sectores más demandantes de energía y emisor de GEI, el sector transporte. Una opción para explorar de manera holística es el potencial del gas natural renovable (GNR) procedente de la co-digestión de residuos orgánicos. Con el objetivo de tener claridad sobre el potencial del GNR en México y su capacidad de utilizarse al igual que el gas natural convencional como una vía estratégica de mitigación, en esta propuesta se estima el potencial teórico y el económicamente viable de GNR procedente de los principales residuos orgánicos generados en el país, encontrándose que es posible alcanzar las metas sugeridas de reducción de emisiones al 2030 en el sector transporte.

**PALABRAS CLAVE:** gas natural renovable, estrategia, cambio climático, sector transporte.

**ABSTRACT:** In the face of the global problem of climate change, Mexico proposed to promote the use of natural gas as one of the main measures to reduce its emissions of greenhouse gases (GHG). Given the current scenario of allocating national reserves of conventional natural gas and the incremental imports of shale gas to key sectors of the country - electricity generation and industry - it is unlikely that the strategy of increasing the consumption of natural gas as the main mitigation measure for one of the most demanding sectors of energy and emitter of GHG, the transport sector. One option to explore holistically is the potential of renewable natural gas (RNG) from the co-digestion of organic waste. In order to be clear about the potential of the RNG in Mexico and its capacity to be used as well as conventional natural gas as a strategic mitigation path, this proposal estimates the theoretical and the economically viable potential of RNG generated from the main organic waste produced in the country, finding that it is possible to achieve the suggested goals of reducing emissions in the transport sector by 2030.

**KEYWORDS:** renewable natural gas, strategy, climate change, transport sector.

## INTRODUCCIÓN

Derivado de los esfuerzos internacionales para hacer frente a la problemática de cambio climático global, México asumió en 2015 el compromiso, no condicionado, de reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 22 % al año 2030. Dicho compromiso quedó evidenciado al postularse las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (iNDC's, por sus siglas en inglés) acorde a la Convención Marco de las Nacio-

nes Unidas sobre el Cambio Climático, en donde el impulso al uso del gas natural (GN) se presentó como acción preponderante al estar presente en todas las medidas de mitigación de los sectores más contaminantes: sustitución de combustibles pesados por gas natural en la industria nacional, incrementar la flota vehicular a gas natural, recuperación y uso de metano en rellenos sanitarios municipales, plantas de tratamiento de aguas residuales y biodigestores en granjas agropecuarias [1].

Cabe mencionar que en específico para el sector transporte, a pesar de que México se ha planteado reducir en un 21%, de manera no condicionada, los compuestos de GEI al 2030 respecto a la línea base de 2013, al pasar de 229 a 181 Mt CO<sub>2</sub>e, el uso de gas natural como combustible limpio no resulta preponderante en los estudios prospectivos presentados por la Secretaría de Energía [2] al corto y mediano plazo tal como se muestra en la figura siguiente.

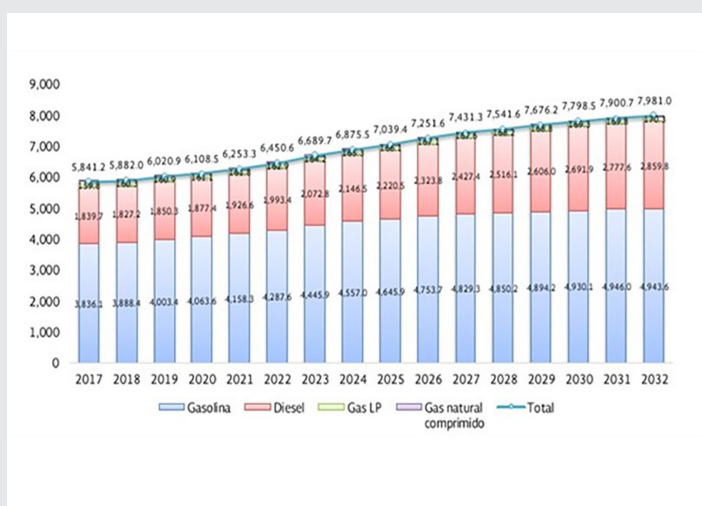


Figura 1. Demanda de combustibles fósiles para el sector auto-transporte 2017-2032, SENER (2018)

Es importante aclarar que ya hoy en día el GN es uno de los combustibles de mayor consumo en el país, ya que de los 7 611.9 millones de pies cúbicos diarios de gas natural (mmpcd) requeridos durante el 2017, el 50.8 % fue demandado por el sector eléctrico, seguido por la industria del petróleo con 26.4 % y sólo el 0.1 % fue consumido por el sector autotransporte [3]. Además de que las reservas de gas natural convencional (GNC), 3p (probadas, probables y posibles) al 1º de enero de 2017 fueron del orden de los 28 950 miles de millones de pies cúbicos, que, de ser consumidos al ritmo antes mencionado, representa sólo una reserva disponible para los próximos 10.4 años [4].

Así mismo, al cierre de 2017, México registró un volumen de importación de 4 073.3 mmpcd de gas natural por ducto, representando el 53.5 % del consumo nacional diario, lo que representó un incremento de 17.5 % respecto al 2016 [5]. Respecto a las importaciones

de gas natural licuado (GNL), éstas tuvieron una participación de 13.6 %, alcanzando un volumen de 638.6 mmpcd [6].

Lo anterior representa una tendencia nacional a la dependencia de combustibles fósiles de importación, especialmente de gas de lutitas (shale gas). De hecho, las exportaciones de GN de Estados Unidos de América (EUA) a México se han quintuplicado desde 2010. Dicho aumento repentino en las exportaciones de gas ha ocasionado el incremento en la fracturación hidráulica en los EUA, la expansión de gasoductos transfronterizos, y la supresión de las fuentes renovables de energía en México. La mitad de la electricidad de México ya proviene del GN y sólo el 1 % de la energía solar y eólica [7].

Ante el actual escenario de destinar el gas natural convencional nacional remanente y las crecientes importaciones de gas de lutita de EUA a sectores clave del país - generación de electricidad e industria - resulta poco probable que se cumpla la estrategia de incrementar el consumo de GN como principal medida de mitigación para el sector transporte. Ante esto resulta prioritario explorar otras fuentes de dicho combustible y más aún que por su origen pueda clasificarse como una fuente de energía renovable.

Así, la opción que tendría que convertirse en un tema estratégico para la seguridad energética del país es el Gas Natural Renovable (GNR), el cual es el biogás que se ha procesado a biometano con una pureza aproximada del 98 % y que se puede mezclar indistintamente con el gas natural convencional en todos sus usos finales.

Por lo anterior como premisa y derivado de la necesidad de tener claridad sobre el potencial del GNR en México y su capacidad de utilizarse al igual que el GNC como una vía estratégica de mitigación de gases de efecto invernadero, en específico para el sector que más emisiones genera en el país, el sector transporte, esta propuesta explica, de manera sucinta, por qué considerar al biometano como una fuente de energía renovable y su principal barrera para su adopción. Posteriormente se estima un potencial teórico de generación de biometano basado en datos de conversión de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), aplicados a los principales residuos orgánicos que genera el país y se contrasta con un potencial denominado en este estudio económicamente viable, estimado en base a la capacidad de producción de plantas de generación que tienen más de una década de estar operando en Europa y que utilizan residuos orgánicos similares a los que se generan en el país. Finalmente se estima la cantidad de GNR necesaria para sustituir a combustibles fósiles, la cual permitiría cumplir con las metas de reducción de GEI planteadas al 2030 del sector transporte.

Cabe mencionar que, en México, desde el año 2007, se ha ocupado el biogás para la generación de energía eléctrica, pasando de una capacidad de generación de 19 MW a 169 MW en 2017. Así mismo al final del mismo año, existían 79 plantas de generación eléctrica basadas en bagazo de caña y biogás [8].

## El biometano, por su origen, una fuente renovable de energía.

La producción del biogás involucra la descomposición de materia orgánica mediante el proceso de digestión anaeróbica. El biogás resultante básicamente está compuesto entre 55 % a 70 % de metano (CH<sub>4</sub>) y 30 % a 45 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y trazas de otros gases. La materia prima típica incluye al estiércol, agua doméstica residual, residuos agrícolas y residuos domésticos orgánicos. A su vez, el biogás puede purificarse a biometano y usarse directamente en el sector transporte (Figura 2) o quemarse para generar calor y electricidad [9].

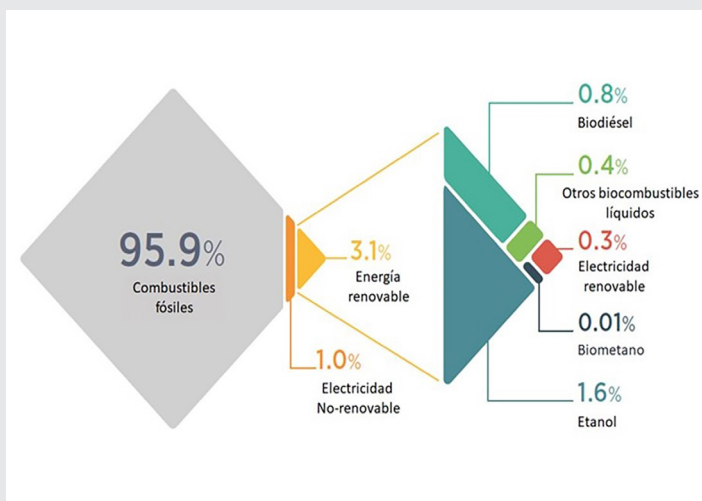


Figura 2. Participación de tipos de combustibles en el sector transporte a nivel mundial en 2015, IEA (2017)

En la actualidad, la investigación de Hofmann y Findeisen [10] confirma que, debido al tema de economía de escala, las plantas de biometano sólo son económicamente viables para altos niveles de volumen (entre 100 m<sup>3</sup>/h y 500 m<sup>3</sup>/h). No obstante, la posibilidad de inyectar biometano en la red de gas natural hace del biogás una fuente flexible de energía renovable, debido a la capacidad de utilizar a la red de gas como un sistema propio de almacenamiento, lo que puede ayudar a la estabilización de la red y usarse como combustible para transporte.

Por otra parte, además de la importancia de usar el biometano como un combustible renovable, su uso implicaría un gran aporte a mitigar el cambio climático a nivel mundial, ya que mientras que el CO<sub>2</sub> persiste en la atmósfera durante siglos, o incluso milenios, el CH<sub>4</sub> calienta el planeta súbitamente durante una década o dos antes de descomponerse en CO<sub>2</sub>. Durante

esas cortas décadas, el metano calienta el planeta 86 veces más que el CO<sub>2</sub>, acorde al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [11].

## Costo del GNR, principal reto para un uso masivo del biometano.

Si bien en la actualidad el costo internacional del GNR es del orden de 5 a 6 veces superior al del GNC (Figura 3), las ganancias derivadas de la eficiencia energética y la disminución de externalidades negativas como la contaminación en sus diversas vertientes, demuestran la viabilidad de inversión no solamente del sector privado sino también del público por los beneficios sociales que esta transición tecnológica traería para la sociedad en su conjunto [12].

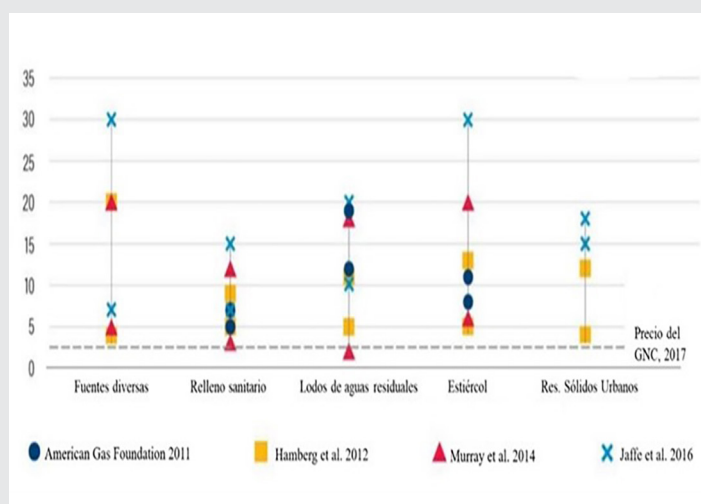


Figura 3. Precio del GNC Vs GNR de diversos orígenes, WRI (2018)

Por ejemplo, el costo social del metano estimado en los EUA bajo la administración del presidente Obama se fijó en un precio de alrededor de \$1 400 dólares por tonelada métrica a 2020. Dicho valor es 28 veces mayor al costo social del dióxido de carbono estimado durante la misma administración, que fue alrededor de \$50 dólares por tonelada métrica [13].

Durante septiembre del 2017, en México, el costo del gas natural alcanzó los 4.09 dólares por millón de unidades térmicas británicas (MMBTU) [14]. Respecto al precio del gas natural licuado, el precio estimado en México a mayo del 2017 fue de 5.28 dólares por MMBTU.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Dadas las metas de reducción de emisiones de GEI que diferentes naciones se han planteado, cada estrategia trazada cobra vital importancia para el cumplimiento de los objetivos. En el caso de México, dada la creciente dependencia energética y su papel como una de las naciones que más aporta a la emisión de GEI [15], es importante evaluar, de manera holística, los recursos disponibles y definir planes de acción para su máximo aprovechamiento. Es así como en esta

sección se evalúan las principales fuentes de residuos orgánicos y su potencial capacidad de generación de biometano (ver tabla 1) en base a valores de conversión validados [16].

**Tabla 1. Generación de biometano procedente de diversos tipos de material orgánico, The biogas Handbook, IEA Bioenergy (2013).**

Tipo de materia prima	MS (%)	SV % de MS	SV (%)	Rendimiento de biometano ( $m^3 CH_4 / kg SV$ )	Producción de biometano ( $m^3 CH_4 / m^3$ )
Purín de cerdo	5	80	4	0.3	12
Purín de ganado vacuno	8	80	6.4	0.2	12.8
Residuos de frutas	15-20	75		0.25 - 0.5	
Lodos de aguas residuales	5	75	3.75	0.4	15
Lodos de aguas residuales concentrados	10	75	7.5	0.4	30
Restos de comida	10	80		0.5-0.6	

## RESULTADOS

En esta sección se muestra el potencial de generación de biometano en base a su origen y se discute su impacto en la reducción de GEI en el sector transporte.

### Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Durante 2015 en México se generaron 53.1 millones de toneladas de basura al día, con un promedio per cápita de 1.2 kg/día. Lo cual representa un potencial energético desaprovechado ya que del total de los residuos generados en el país sólo se recicla el 9.6 %, mientras que en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) el porcentaje varía entre 24 % a 58 % [17].

Sólo en la Ciudad de México (CDMX) se generan 12 893 toneladas/día de basura, posicionándola como una de las primeras cinco ciudades a nivel mundial con mayor generación de residuos sólidos urbanos (RSU), residuos que por lo general son enterrados en rellenos sanitarios del Estado de México, con un costo aproximado de 450 MXP por tonelada, entre gastos de flete, peaje y tarifa de los rellenos sanitarios [18].

A nivel país, los RSU generados presentan una composición típica de 53 % de materia orgánica, 28 %, de residuos potencialmente reciclables y 19 %, de no aprovechables [19].

Respecto a la cantidad de alimento que se desperdicia en el país, el Banco Mundial en su reporte Pérdidas y desperdicios de alimentos en México, estimó recientemente una cantidad de 20.4 millones de toneladas anuales, lo que representa en términos económicos alrededor de 491 mil millones de pesos al año y la generación de 36 millones de toneladas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), un volumen similar a las emisiones generadas por 15.7 millones de vehículos anualmente [20].

Considerando sólo las 20.4 millones de toneladas anuales de alimentos desperdiciados, y acorde a la relación de sólidos volátiles (SV) mostrada en la tabla 1 y un rendimiento de  $0.55 m^3$  de  $CH_4/kg SV$ , es posible obtener 1.63 millones de toneladas de SV, con la capacidad de generar 897.6 millones de  $m^3/año$  de biometano.

### Lodos de aguas residuales.

Otra fuente potencial de emisiones de metano es el manejo y tratamiento de las aguas residuales municipales a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. En la actualidad, la mayoría de los países desarrollados utilizan sistemas de tratamiento aeróbico centralizado para recolectar y tratar las aguas residuales municipales. Dichos sistemas producen pequeñas cantidades de metano, pero también grandes cantidades de biosólidos que podrían provocar altos índices de emisiones de metano. En los países en desarrollo donde la captura y tratamiento de aguas residuales es poca o inexistente, los sistemas tienden a ser anaeróbicos, y, por ende, provocan mayores emisiones de metano. Estos sistemas incluyen lagunas, sistemas sépticos y letrinas [21].

Acorde a SEMARNAT [22], durante 2015 las 2,477 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en el país trataron sólo  $120.9 m^3/s$ , es decir el 57.0 % de los  $212.0 m^3/s$  recolectados a través de los sistemas de alcantarillado.

Tomando en cuenta la relación de SV procedentes de lodos de aguas residuales mostrada en la tabla 1, un rendimiento de  $0.4 m^3$  de  $CH_4/kg SV$  y sólo el 43 % del agua residual municipal que no recibe tratamiento en el país, es posible obtener hasta 116.5 millones de toneladas de sólidos volátiles, con lo cual se podrían generar hasta 46.7 millones de  $m^3$  anuales de biometano.

### Residuos Animales

Los residuos generados en granjas de producción animal (estiércol) son una excelente fuente de biometano. Cuando el estiércol se digiere anaeróticamente, se produce biogás, además de obtener como subproducto un fertilizante de gran calidad [23]. Sin embargo, los residuos de origen animal contienen un bajo contenido de material sólido, lo que provoca un bajo rendimiento por unidad de volumen de residuo digerido, en un rango de  $10 m^3$  a  $20 m^3$  de biometano por metro cúbico de recurso a digerir, además de los altos costos que implica el transporte de biomasa [24].

Aplicando la metodología propuesta por Vera-Romero, et al. [25] que calculan la cantidad de excretas producidas de forma anual en base al total de cabezas de ganado afectado por su tamaño y acorde a datos de la última encuesta agropecuaria realizada a nivel nacional [26], con las 28.4 millones de cabezas de ga-

nado bovino y los 14.15 millones de cerdos existentes en el país, se tendría la capacidad de producir hasta 110.6 millones de toneladas de excretas.

Considerando la relación de SV de purín de ganado vacuno y purín de cerdo mostrado en la tabla 1 con un rendimiento de 0.2 m<sup>3</sup> y 0.3 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg SV respectivamente y los datos mencionados en el párrafo anterior, es posible generar aproximadamente 1 409.6 millones de m<sup>3</sup> de biometano de forma anual.

Así al estimar el potencial de generación de biometano procedente sólo de los lodos de aguas residuales municipales, los residuos de alimentos y los residuos de animales de granja generados de forma anual (ver resumen en tabla 2), en México se tendría la capacidad de generar hasta 48 890 millones de m<sup>3</sup>/año, lo que representaría poder suministrar el 62.1 % del GN requerido en el país durante el 2017.

**Tabla 2. SV generados por tipo de residuo y su capacidad de generación de biometano.**

Tipo de residuo	SV (Mt/año)	Rendimiento de biometano (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / kg SV)	Generación de biometano (Mm <sup>3</sup> /año)
Lodos de agua residual	116.5	0.4	46 600
Desperdicios de comida	1.6	0.5-0.6	880
Estiércol bovino	6.6	0.2	1 320
Estiércol porcino	0.3	0.3	90

En este sentido, Thrän, et al. (2007, citado en [27]) estimó que a 2020 en Europa se podrían producir hasta 250 mil millones de metros cúbicos estándar (Nm<sup>3</sup>) de biometano procedentes de la biodigestión, los cuales podrían cubrir el 50 % de su demanda de gas natural.

No obstante, el análisis anterior propuesto en donde se estima teóricamente la capacidad de generación de biometano de manera individual por tipo de residuo (mono-digestión), la realidad que ocurre en diversos países en donde se ha explotado ampliamente la biomasa [28], es que se obtienen mejores condiciones de viabilidad económica a partir de la co-digestión de diferentes mezclas de residuos orgánicos, tales como: estiércol + residuos de alimentos o lodos de aguas residuales + restos de alimentos + diversos residuos orgánicos.

De hecho, la co-digestión de residuos animales y residuos industriales potencializan la producción de biometano, tal como el uso de diversos tipos de residuos orgánicos (aceite de pescado, de soya, margarinas, alcohol), los cuales pueden inducir rendimientos en el rango de 30 m<sup>3</sup> a 500 m<sup>3</sup> de biometano por metro cúbico de mezcla de residuos orgánicos [29]. Además de que en México se cuenta con condiciones óptimas de temperatura promedio, 19 – 21°C, a lo largo del año, las cuales han demostrado máximos valores de conversión a CH<sub>4</sub> [30], y en donde los subproductos generados, posterior a la digestión, pueden ser utilizados

como un excelente fertilizante rico en nutrientes y con bajo nivel de patógenos [31].

Con la finalidad de obtener un dato de generación de biogás tomando el criterio de viabilidad económica, se propone realizar el ejercicio de replicar en el país dos casos de plantas de biometano que operan desde hace más de una década en Europa [32], basadas en co-digestión (Caso 1: estiércol de bovino 50 % + desperdicio de comida 50 %, Caso 2: lodos de agua residual 96 %+ desperdicio de comida 4 %), con una productividad real de biometano al 98 % de 225 y 700 Nm<sup>3</sup>/h respectivamente. Para lo cual se consideró como componente limitante los 20.4 millones de toneladas anuales de desperdicio de comida en México, con lo cual se estima la posibilidad de generar hasta 2.65 mil millones de Nm<sup>3</sup> de biometano al año en 680 plantas a ser instaladas en zonas estratégicas cercanas al origen de los desechos utilizados.

Es así como un futuro viable para la producción de biometano deberá plantearse ya no en términos de sistemas de mono-digestión sino en base a sistemas de digestión con cosustratos que permitan mejor rentabilidad durante el proceso de generación, permitiendo así la sostenibilidad económica de los proyectos.

### El impacto del GNR en las emisiones de carbono del sector transporte.

Durante el 2017, el 79.4 % de los petrolíferos consumidos en el país, 1 225.14 miles de barriles diarios (mbd), se destinaron a las necesidades del sector transporte, de los cuales 798.8 mbd fueron de gasolina consumidos por 33 489 miles de vehículos (intensidad energética anual= 8.7 barriles/vehículo) y 344 mbd de diésel consumidos en un 92.4 % por 824 miles de vehículos (intensidad energética anual= 140.8 barriles/vehículo). Respecto al GN en 2018 se estimó un consumo de 6.1 mmpcd [33].

Al 2030 se estima, en base a proyecciones de consumo realizadas por la Secretaría de Energía [34], que la demanda de gasolina sea de 1 039.5 mbd, de diésel 497 mbd y 7.2 mmpcd de GN.

Utilizando los factores de emisión para los diferentes combustibles fósiles estimados por el INEEC [35] se prevé que al 2030 la quema de combustibles fósiles provenientes del sector transporte, emitiría 242.05 megatoneladas de dióxido de carbono (Mt CO<sub>2</sub>), ver desglose en la tabla siguiente.

En esta sección, los cálculos sobre la capacidad de reducción de emisiones, por el tipo de información disponible, se realizarán en base a la cantidad de dióxido de carbono emitido (CO<sub>2</sub>) y no en términos de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), pero dado que el CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero de mayor concentración [36], los resultados nos permitirán te-



ner una imagen clara del impacto del uso del GNR en el sector transporte.

**Tabla 3. Desglose de emisiones de CO<sub>2</sub> derivados de combustibles fósiles al 2030.**

Combustible	mbd	M litros/año	kg CO <sub>2</sub> /L comb.	Mt CO <sub>2</sub> /L comb.
Gasolina	1 039.5	60 322.5	2.596	156.6
Diésel	464.9	26 978.3	2.322	62.6
Gas LP	43.6	2 530.1	1.58	3.9
Turbosina	130.5	7 573.0	2.462	18.6
	mmpcd	m <sup>3</sup> /año	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> GN	Mt CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> GN
Gas Natural	7.2	74 416 672.8	2.27	0.17

En este sentido, dado que el sector transporte tendría que reducir al 2030 sus emisiones de carbono de 242.05 a 191.2 Mt CO<sub>2</sub> y bajo el enfoque de que el GNR substituyera al diésel como combustible, debido a que la intensidad energética anual por vehículo es de 16:1 del diésel respecto a la gasolina, además de tomar en consideración que por factores de equivalencia calorífica 1 barril de diésel = 163.88 m<sup>3</sup> de gas natural, se tendrían que sustituir 380.4 mbd de diésel, equivalentes a 22.75 mil millones de m<sup>3</sup> GNR/año, lo que representa 8.6 veces el potencial de GNR viable económicamente (acotado en este estudio al recurso limitante de residuos de comida) o el 47 % del potencial teórico, valores estimados en secciones anteriores.

## CONCLUSIONES

Ante un futuro incierto de independencia energética, el país debe explorar ampliamente los recursos renovables subutilizados, uno de ellos es el gas natural renovable o biometano, el cual es cada vez más visto como una alternativa confiable de energía a nivel mundial. Además de que, dado su gran potencial como gas de efecto invernadero, resulta más adecuado para el medio ambiente y la población el que se utilice mediante un proceso de combustión a permitir su interacción directa con la atmósfera, dejando a un lado el sobrecosto actual de su producción, ya que las comparaciones no toman en cuenta factores como los diferentes subsidios aplicados a los combustibles fósiles durante su cadena de suministro.

Conforme a la propuesta holística de este estudio, se estima un gran potencial teórico de generación de biometano el cual podría cubrir más del 50% de la demanda de gas natural del país, dada la inmensa cantidad de residuos de diferente origen orgánico que se generan cada año, situación que debería ser ampliamente estudiada, para definir las mejores condiciones de viabilidad económica.

Una opción por seguir, y acorde a la experiencia de otros países que han explotado ya el recurso desde algunos años, son los procesos de co-digestión los que permitirían generar proyectos rentables e inclu-

sive tener mejores rendimientos de producción de biometano que los procesos de mono-digestión, por lo que se sugiere elaborar estudios detallados para definir la cadena óptima de suministro para la generación de biometano en base a los diferentes residuos orgánicos presentes en el país.

Adicional a lo anterior, el transitar a biometano como combustible vehicular, permitiría coadyuvar al cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de GEI del sector transporte, dada la mejor eficiencia de combustión del metano respecto a la gasolina y el diésel, sin mencionar que se estaría consumiendo un combustible renovable con la capacidad de ser almacenado, a diferencia de otras fuentes renovables como el viento o la radiación solar, lo que garantizaría un suministro confiable de energía.

Además de que la transición de combustibles fósiles a combustibles de origen renovable provocaría condicionantes de crecimiento y empleo, competitividad, descarbonización del transporte y diversificación del portafolio energético. Sin embargo, tal como Campos y Pérez [37] señalan "para aumentar la eficiencia y reducir los costos del sistema, se requerirá no solamente de un espectro más amplio de tecnologías y combustibles, sino también de nuevas herramientas de planificación, marcos regulatorios de apoyo y un mayor diálogo político tanto nacional como con en el ámbito regional" (p. 7).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SEMARNAT (2015). *México rumbo a la COP-21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <http://www.depfe.unam.mx/actividades/15/Paris2015sem-SEMARNAT.pdf> 15/06/2018*
- [2] SENER (2018). *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032. Secretaría de Energía. Recuperado de [http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PPP\\_2018\\_2032\\_F.pdf](http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PPP_2018_2032_F.pdf)*
- [3] *Ibidem*
- [4] SENER (2017). *Prospectiva de gas natural 2017-2031. Secretaría de Energía. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/302380/PGN\\_17\\_FF1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/302380/PGN_17_FF1.pdf)*
- [5] *Ibidem*
- [6] SENER (2018). *Prospectiva de gas natural 2018-2032. Secretaría de Energía. Recuperado de [http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PGN\\_18\\_32\\_F.pdf](http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PGN_18_32_F.pdf)*
- [7] Ackerman, F., Álvarez A., Laxer. G., Beachy, B. (2018). *TLCAN 2.0: ¿A favor de las personas o*

de los contaminadores? Recuperado de <https://www.sierraclub.org/sites/www.sierraclub.org/files/uploads-wysiwig/TLCAN%202.0%202018.pdf>

[8] SENER (2018). *Prospectiva de energías renovables 2018-2032*. Secretaría de Energía. Recuperado de [http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PER\\_18\\_32\\_F.pdf](http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PER_18_32_F.pdf)

[9] WBA (2017). *WBA Global bioenergy statistics 2017*. World Bioenergy Association. Recuperado de [http://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20GBS%202017\\_hq.pdf](http://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20GBS%202017_hq.pdf)

[10] Hofmann, F. y Findeisen, C. (2017). *El uso de biometano en el sector del transporte - ¿una opción viable?* Sustainable Urban Transport Project. Recuperado de <https://sutp.org/es/news-reader/el-uso-de-biometano-en-el-sector-del-transporte-una-opcion-viable.html>

[11] Vaidyanathan, G. (2015). *How Bad of a Greenhouse Gas Is Methane?* Recuperado de <https://www.scientificamerican.com/article/how-bad-of-a-greenhouse-gas-is-methane/>

[12] Campos R. y Pérez, G. (2019). *Tecnología y recambio energético en el transporte automotor de América Latina y el Caribe*. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44439/1/S1900028\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44439/1/S1900028_es.pdf)

[13] Heikkinen, N. (2017). *EPA Revises the Social Cost of a Potent Greenhouse Gas*. Recuperado de <https://www.scientificamerican.com/article/epa-revises-the-social-cost-of-a-potent-greenhouse-gas/>

[14] SENER (2017). *Prospectiva de gas natural 2017-2031*. Secretaría de Energía. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/302380/PNG\\_17\\_FF1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/302380/PNG_17_FF1.pdf)

[15] WRI (2014). *6 Graphs Explain the World's Top 10 Emitters*. World Resources Institute. Recuperado de <https://www.wri.org/blog/2014/11/6-graphs-explain-world-s-top-10-emitters>. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2018.

[16] IEA-Bioenergy (2013). *The biogas handbook. Science, production and applications*. International Energy Agency-Bioenergy. Woodhead Publishing. Series in Energy: Number 52.

[17] Enciso, A. (2017, mayo 08). *Aumenta generación de basura; al día, cada mexicano tira 1.2 kilos*. La Jornada. Recuperado de <http://www.jornada.unam.mx>

[18] Durand, B. (2017, marzo 27). *Energía generada por basura moverá al metro*. El Universal. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx>

[19] Carrasco, J. y Rodríguez, J. (2015). *Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos*. Recuperado de [http://www.inegi.org.mx/RDE/rde\\_14/doctos/rde\\_14\\_art2.pdf](http://www.inegi.org.mx/RDE/rde_14/doctos/rde_14_art2.pdf)

[20] SENER (2017). *Prospectiva de gas natural 2017-2031*. Secretaría de Energía. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/302380/PNG\\_17\\_FF1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/302380/PNG_17_FF1.pdf)

[21] GMI (2013). *El metano de las aguas residuales municipales: Reducir emisiones, avanzar en la recuperación y aprovechar oportunidades*. Global Methane Initiative. Recuperado de [https://www.globalmethane.org/documents/ww\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/ww_fs_spa.pdf)

[22] SEMARNAT (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de [http://201.116.60.25/publicaciones/eam\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/eam_2016.pdf)

[23] Mata, J. y Romero-Hernández, O. (2011). *Cap. 5 Bioenergía, parte I: biomasa y biogás*. En *Energías Renovables: Impulso político y tecnológico para un México Sustentable* (pp. 126-159). México: ITAM.

[24] IEA-Bioenergy (2013). *The biogas handbook. Science, production and applications*. International Energy Agency-Bioenergy. Woodhead Publishing. Series in Energy: Number 52.

[25] Vera-Romero, I., Estrada-Jaramillo, M., Martínez-Reyes, J., Ortiz-Soriano, A. (2014). *Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino*. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XV (número 3), julio-septiembre 2014: 429-436.

[26] INEGI (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/encagro/ena/2014/>

[27] IEA-Bioenergy (2013). *The biogas handbook. Science, production and applications*. International Energy Agency-Bioenergy. Woodhead Publishing. Series in Energy: Number 52.

[28] Urbanbiogas (2011). *Good practice projects for biogas production from waste, upgrading and utilization*. Recuperado de [http://www.urbanbiogas.eu/images/pdf/1stPR/ANNEX\\_1\\_9\\_D2\\_2\\_FRAUNHOFER\\_EN\\_GoodPrBiogas.pdf](http://www.urbanbiogas.eu/images/pdf/1stPR/ANNEX_1_9_D2_2_FRAUNHOFER_EN_GoodPrBiogas.pdf)

[29] IEA-Bioenergy (2013). *The biogas handbook. Science, production and applications. International Energy Agency-Bioenergy. Woodhead Publishing. Series in Energy: Number 52*

[30] Hambaliou, B., VanderZaag, A., Burt, S., Wagner-Riddle, C., Crolla, A., Desjardins, R. MacDonald, D. (2016). Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant. *Bioresource Technology* 216 (2016) 914-922.

[31] Pampillón-González L., Luna-Guido M., Ruíz-Valdiviezo V. M., Franco-Hernández O., Fernández-Luqueño F, Paredes-López O., Hernández G., Dendooven L. (2017). Greenhouse gas emissions and growth of wheat cultivated in soil amended with digestate from biogas production. *Pedosphere*. 27(2): 318-327.

[32] Urbanbiogas (2011). *Good practice projects for biogas production from waste, upgrading and utilization. Recuperado de [http://www.urbanbiogas.eu/images/pdf/1stPR/ANNEX\\_1\\_9\\_D2\\_2\\_FRAUNHOFER\\_EN\\_GoodPrBiogas.pdf](http://www.urbanbiogas.eu/images/pdf/1stPR/ANNEX_1_9_D2_2_FRAUNHOFER_EN_GoodPrBiogas.pdf)*

[33] SENER (2018). *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032. Secretaría de Energía. Recuperado de [http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PPP\\_2018\\_2032\\_F.pdf](http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PPP_2018_2032_F.pdf)*

[34] *Ibidem*

[35] INECC (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC\\_2014\\_FE\\_tipos\\_combustibles\\_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf)*

[36] CCES (2019). *Main Greenhouse gases. Center for Climate and Energy Solution. Recuperado de <https://www.c2es.org/content/main-greenhouse-gases/>*

[37] Campos R. y Pérez, G. (2019). *Tecnología y recambio energético en el transporte automotor de América Latina y el Caribe. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44439/1/S1900028\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44439/1/S1900028_es.pdf)*

# Sistema electrónico de análisis de posicionamiento y monitoreo en pasajeros en el transporte público mediante GPS

**RESUMEN:** La dos problemáticas que se presentan en el transporte público de la ciudad de Villahermosa Tabasco son: determinar la cantidad de usuarios que abordan la unidad y el abandono de ruta por parte de los conductores, se propone el desarrollo de un “Sistema electrónico de análisis de posicionamiento y monitoreo en pasajeros en el transporte público mediante GPS” en dos fases, en la primera se diseña el subsistema de conteo, el cual permite registrar el número de usuarios que aborden la unidad, se realiza utilizando la plataforma de desarrollo Arduino [1], un sensor infrarrojo E18-D80NK (figura 3), el módulo bluetooth HC-06 [2], para el envío y recepción de los datos con una aplicación móvil que se implementa utilizando una estructura de programación orientada a objetos.

Como primera fase se logró implementar el subsistema para el conteo de personas, el cual se encuentra instalado en una unidad de transporte VICOSERTRA de prueba con una precisión del 96% con base al monitoreo realizado, éste fue obtenido al comparar los datos recabados por el equipo y los registrados por una persona que realizó la jornada de trabajo para realizar la comparación.

La interfaz diseñada es muy sencilla pero práctica para utilizarla, se aplicaron tecnologías ya estandarizadas, considerando las características de los dispositivos como el bluetooth [3], el cual fue la solución para la comunicación entre el arduino y el dispositivo móvil (figura 4)

#### PALABRAS CLAVE:

Arduino, conteo, posicionamiento, monitoreo, pasajeros, unidad.



#### Colaboración

Dulce María León De la O; Víctor Manuel Arias Peregrino; Arcely Aquino Ruiz; Carlos Raúl Muñoz Rodríguez, Instituto Tecnológico de Villahermosa

**ABSTRACT:** The two problems that arise in public transport in the city of Villahermosa Tabasco are: determine the number of users that address the unit and the abandonment of the route by drivers, the development of an “electronic system for the analysis of positioning and monitoring of passengers in public transport using GPS” in two phases, in the first the counting subsystem is designed, which allows to register the number of users that approach the unit, it is done using the Arduino development platform, a sensor infrared E18-D80NK (figure 3), the HC-06 bluetooth module for sending and receiving data with a mobile application that is implemented using an object-oriented programming structure.

As a first phase it was possible to implement the subsystem for counting people, which is installed in a VICOSERTRA transport unit of test with an accuracy of 96% based on the monitoring performed, this was obtained by comparing the data collected by the team and those registered by a person who made the work day to make the comparison.

The designed interface is very simple but practical to use, standardized technologies were applied, considering the characteristics of the devices such as bluetooth, which was the solution for the communication between the arduino and the mobile device (figure 4)

**KEYWORDS:** Arduino, counting, positioning, monitoring, passengers, unit.

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Villahermosa Tabasco, existen rutas a todos los destinos, la tarifa por el servicio es fija y establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, independientemente de la distancia recorrida por la unidad.

Las empresas de transporte tienen rutas asignadas gracias a los convenios realizados con dicha secretaría, en el cual se estipulan el origen, destino y estaciones intermedias, sin que exista la posibilidad de salirse de las rutas establecidas.

Actualmente se presentan dos situaciones en el servicio de transporte, primero: los conductores de las unidades en ocasiones abandonan la ruta establecida utilizando calles o avenidas alternas incumpliendo el convenio realizado y dejando sin servicio a usuarios en algunas estaciones intermedias, segundo: falta de honestidad de los choferes al reportar bajos ingresos en el día y con esto persuadir al dueño de la unidad para bajar la tarifa establecida ocasionando reducción de ingresos y por lo tanto pérdidas a los propietarios de las unidades.

El sistema electrónico de análisis de posicionamiento y monitoreo en pasajeros en el transporte público mediante GPS, está dividido en dos subsistemas: conteo de pasajeros y posicionamiento de la unidad. El primero es un subsistema desarrollado con la arquitectura arduino, ésta facilita introducir sensores para realizar el conteo y poder enviar los datos por medio de un dispositivo bluetooth a una aplicación móvil.

El subsistema de posicionamiento está compuesto principalmente por un GPS, se encuentra instalando directamente en la unidad a localizar, esto permite tener la posición exacta de la unidad y en el momento que se desee. Como resultado se ha obtenido un dispositivo muy preciso y sobre todo su precio es muy accesible para el propietario de la unidad y de fácil aplicación con una interfaz y de forma inherente se ha elevado la seguridad del mismo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Objetivos

- Diseñar un dispositivo para el conteo de personas que abordan la unidad.
- Implementar un GPS que permita la localización de la unidad de transporte público durante las horas de servicio.
- Esquematizar una aplicación que permita mostrar los datos del subsistema de conteo y posicionamiento basado en GPS

### Metodología

Por la naturaleza del desarrollo de la investigación en este proyecto se ha estado trabajando el análisis y diseño en prototipo, esencialmente por la capacidad de adaptación gradual de este enfoque de desarrollo, contrastado con el modelo en cascada se gana en flexibilidad, interacción y

un mayor ajuste a las necesidades del cliente que pudieran surgir en el desarrollo del proyecto.

Como diseño se tomó como referencia la tarjeta de desarrollo arduino, para generar un sistema que se adecue a las necesidades del proyecto. Se establecieron las siguientes premisas.

- Mediante la utilización y el uso de arduino poder hacer conteo preciso en tiempo real y también la transferencia de datos entre el arduino y el dispositivo.
- El conteo debe estar basado en interrupciones por el usuario que usa la unidad.
- Los principios de prototipado deben prevalecer a lo largo de todo el desarrollo con la finalidad de promover la creación de componentes de software y hardware y la reutilización.
- Todas las herramientas de desarrollo han de ser Open-Source en categoría de estables.
- Fases que constituyen al desarrollo del sistema.
- Análisis y diseño del sistema
- Desarrollo de los módulos: conteo con arduino, transferencia de datos con arduino, desarrollo de la App, monitoreo con GPS.

### Diseño del subsistema de conteo

Dada su magnitud, el conteo fue enfocado de lo más simple a lo más complejo con la finalidad de poder factorizar el problema. Secuencialmente se fue construyendo el código.

**Declaración de variables:** constituye el conjunto de campos que definen todas las declaraciones que se realizan para ser utilizadas durante el programa de manera que pueda ser representada en el sistema, permite definir el campo y el tipo de dato e indicar de que trata.

**Setup:** encapsula el conjunto de definiciones que se ejecutan por única vez dentro del programa. De igual manera se tiene un conjunto de instrucciones para poder realizar pruebas con el monitor serial.

**Loop:** contiene el programa en toda su expresión, el cual se ejecutará cíclicamente. Se puede hacer lectura de entradas, activación de salidas ya que esta función es el núcleo de todo el programa y la que realiza la mayor parte del trabajo.

**Bluetooth:** transmisión y recepción de datos, los cuales podrán ser enviados a una APP y ésta mostrará los valores recolectados por el arduino, muy importante recalcar que es indispensable ejecutar esta librería que consigue conectar de forma transparente al arduino con un dispositivo móvil.

### Gestión de la comunicación

El sistema, en temas de comunicación es un factor determinante para su correcto funcionamiento. Ya que la transparencia es muy esencial para poder dar mayor confianza al usuario que la dispondrá.

La estructura dada para la configuración del bluetooth es esta dada de la siguiente manera:

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT1(10, 11); // RX | TX
void setup()
{ pinMode(8, OUTPUT); // Al poner en HIGH forzaremos el modo AT
  pinMode(9, OUTPUT); // cuando se alimente de aqui
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay (500); // Espera antes de encender el modulo
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Levantando el modulo HC-06");
  digitalWrite (8, HIGH); //Enciende el modulo
  Serial.println("Esperando comandos AT:");
  BT1.begin(38400);
}
void loop()
{ if (BT1.available())
  Serial.write(BT1.read());
  if (Serial.available())
  BT1.write(Serial.read());
}
```

Los dispositivos Bluetooth pueden actuar como maestro o esclavo. La diferencia es que un bluetooth esclavo solo puede conectarse a un master y a nadie más, en cambio un bluetooth maestro, puede conectarse a varios esclavos o permitir que ellos se conecten, recibir y solicitar información de todos ellos, arbitrando las transferencias de información (Hasta un máximo de 7 bluetooth esclavos) [4].

### Diseño del circuito

El dispositivo que realiza el conteo está compuesto por un sensor infrarrojo E18-D80NK como se muestra su diagrama a bloques en la figura 3, permite realizarlo con una gran precisión, se añade un bluetooth HC-06 (figura 2) para en envío y recepción de datos con la APP. En la figura 4 se muestra el diagrama a bloques del sistema de conteo.

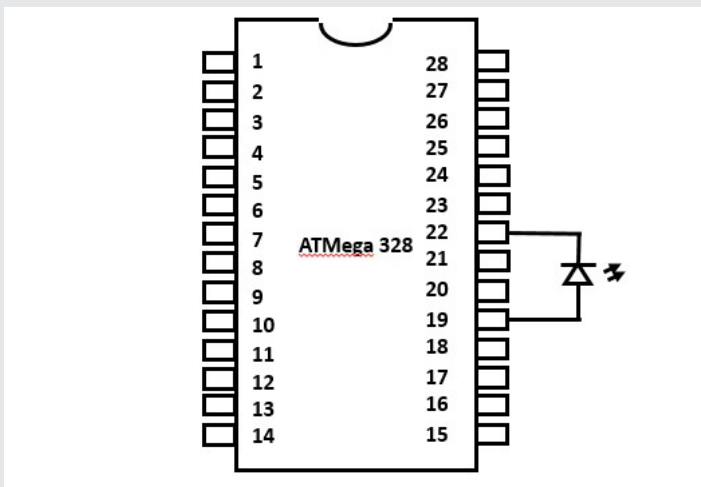


Figura 1: ATmega 328P chip utilizado en el diseño.

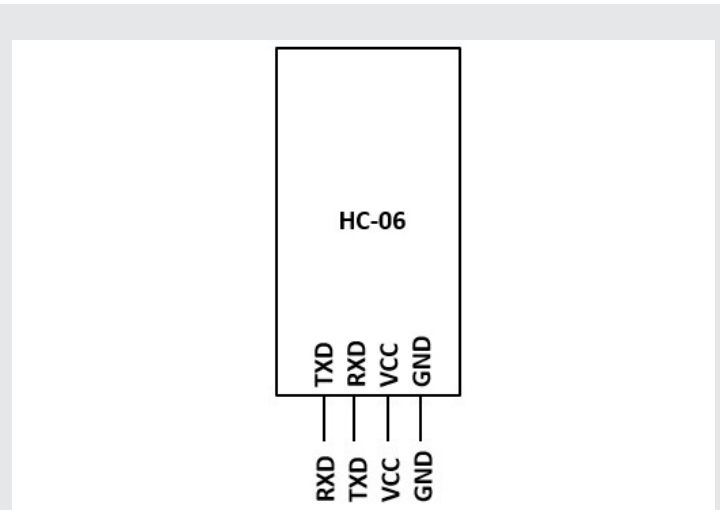


Figura 2: Diagrama a bloque del módulo bluetooth HC-06.

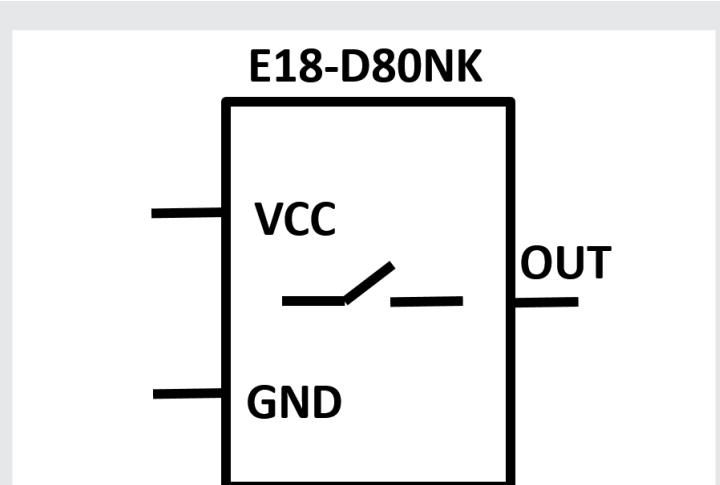


Figura 3: Diagrama a bloque del sensor óptico reflexivo E18-D80NK, utilizado para el conteo.

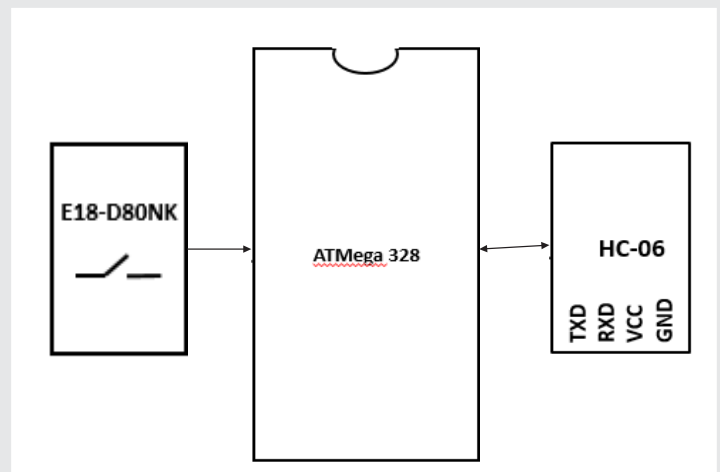


Figura 4: Diagrama a bloques del sistema de conteo

Se analizaron diferentes sensores para la realización del sistema, en la tabla 1, se muestra un comparativo de datos, que permitieron realizar la elección del modelo E18-D80NK .

Tabla 1: Datos comparativos

Nombre	Distancia
Módulo Láser Ky-008.	Largo alcance
Sensor Ultrasonico Hc-sr04.	De 2 a 450 cm.
Sensor Distancia Ultrasonico A Prueba De Agua Jsn-sr04t-2.0.	De 2 a 450 cm.
Sensor Infrarrojo Sharp Gp2y0a21yk0f.	De 10-80 cm.
Sensor Infrarrojo E18-D80nk.	3-80 Cm.
Sensor Reflectivos Infrarrojo Óptico Cny70.	La distancia va desde 0 mm hasta 10 mm.
Sensor Infrarrojo Distancia Sharp Gp2y0a02yk0f.	20-150 cm.

**Diseño de la aplicación móvil**

Una vez integrado el sensor óptico, el módulo bluetooth y el sistema arduino, se requiere enviar los datos obtenidos por el sensor a través de bluetooth a la aplicación móvil la cual nos mostrará el conteo del arduino durante el transcurso del día. En la figura 5, se muestra la aplicación móvil, la cual consta de los módulos: conectar, obtener datos, mostrar y borrar.

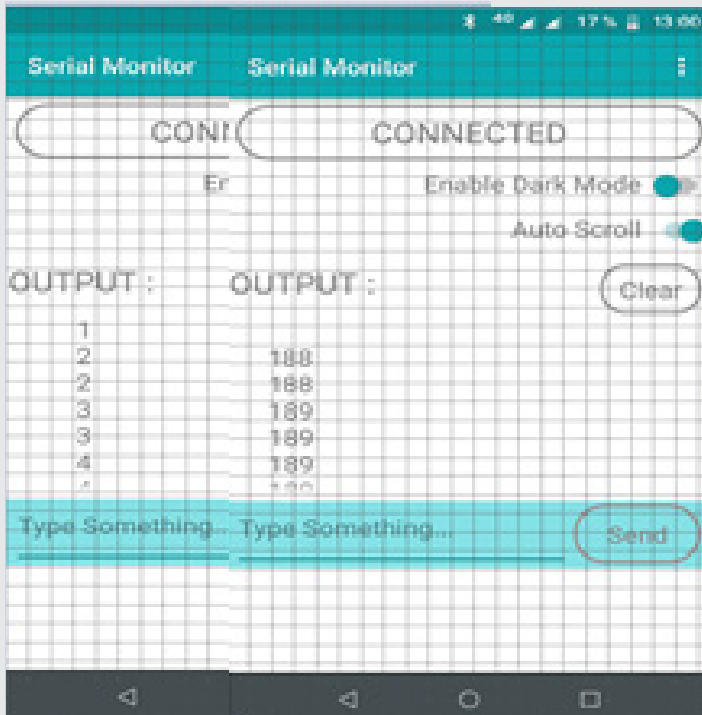


Figura 5. Diseño de la aplicación para mostrar los datos recabados desde el Arduino

**Conectar:** el primer módulo es para la conexión de la aplicación al bluetooth, esto permitirá que la recepción de los datos sea de manera fácil y confiable.

**Obtener datos:** cargará los datos desde el arduino al dispositivo móvil con la aplicación y los guardará en su base de datos.

**Mostrar:** mandará a la pantalla los datos guardados que previamente obtuvimos del arduino y estos son los guardados en la base de datos.

**Borrar:** Este botón nos permitirá mandarle una señal al arduino para que reinicie el conteo, para el siguiente día de trabajo.

**RESULTADOS**

El desarrollo de la fase uno, el subsistema de conteo de este proyecto (Figura 6) es un punto de partida para lograr la completa automatización de las unidades de la unión de propietarios del servicio urbano y combis VICOSERTRA (Villahermosa y sus Colonias Servicio de Transporte), ya que permite al propietario de la unidad determinar la cantidad de usuarios que abordaron la unidad durante el día y con base a este dato hacer una buena estimación de la tarifa establecida al chofer de cada ruta.

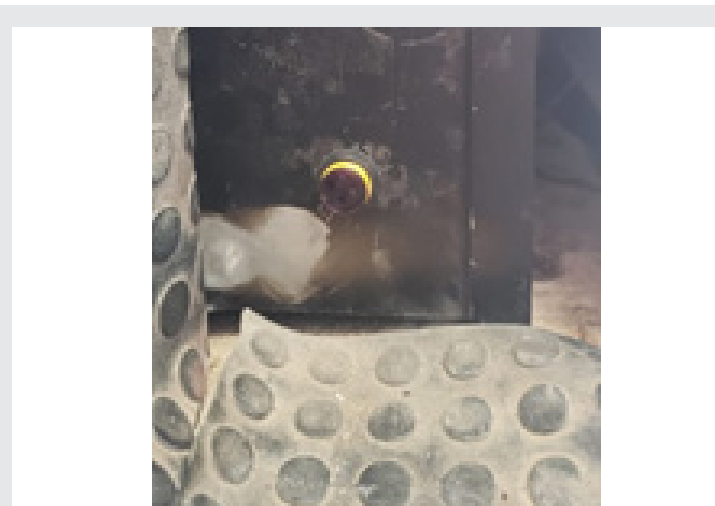


Figura 6. Evidencia del sensor instalado en la unidad de transporte.

El diseño de la interfaz de la aplicación es muy sencilla y fácil de utilizar, el proyecto aplica nuevas tecnologías ya estandarizadas considerando las distintas características de los dispositivos más utilizados, el uso del bluetooth en gran medida fue la solución para la comunicación entre el arduino y el dispositivo móvil, esta manera la comunicación es muy rápida [6]. (Figura 5).

Mediante la implementación del dispositivo de conteo, se logra obtener una precisión del 96%, esto fue contrastado con un muestreo realizado durante el día de trabajo de la unidad.

La estructura del dispositivo móvil, sigue las buenas prácticas para el desarrollo APP, Utilizando una estructura Orientada a Objetos (POO) [7].

La plantilla de la APP que se utilizó fue la simple, para ajustar los componentes de una manera más libre sobre el espacio, todo esto se mantiene sujeto a las adecuaciones que requiera el desarrollo espiral.

El subsistema de conteo de personas se encuentra totalmente terminado e implementado en una unidad de prueba.

La fase 2, el subsistema de posicionamiento se encuentra en etapa de desarrollo, en el cual se incluirá un mapa con la ruta establecida y así en cualquier momento determinar la ubicación de la unidad.

## CONCLUSIONES

El proyecto sistema electrónico de análisis de posicionamiento y monitoreo en pasajeros en el transporte público mediante GPS, se encuentra implementado en su primera fase, es decir, se realizó la instalación en una unidad piloto el subsistema de conteo (Figura 6), obteniendo un 96% de precisión, esto corroborado con el muestreo realizado.

La fase 2, el subsistema de posicionamiento y monitoreo se encuentra en etapa de desarrollo para su implementación en una segunda etapa.

## REFERENCIAS

[1]. Banzi, M. & Shiloh, M. (2015). *Getting Started with Arduino*. United States of America: Maker Media Inc.

[2]. Corona, L., Abarca, G., & Carreño, J. (2017). *Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino*. México D.F.: Grupo Editorial Patria.

[3]. López, L. (2013). *Metodología de la programación orientada a objetos*. México, D.F: Alfaomega.

[4]. Sintés, A. (2002). *Programación Orientada a Objetos*. México: Pearson Educación.

[5]. Hau-Shiue J, & Lum K. (2013). *Design and control of a two-wheel self-balancing robot using the arduino microcontroller board*. diciembre 4, 2018, de IEEE Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/261126156\\_Design\\_and\\_control\\_of\\_a\\_two-wheel\\_self-balancing\\_robot\\_using\\_the\\_arduino\\_microcontroller\\_board](https://www.researchgate.net/publication/261126156_Design_and_control_of_a_two-wheel_self-balancing_robot_using_the_arduino_microcontroller_board).

[6]. Alvear, V., Michilena, J., & Rosero, P. (2016). *Sistema electrónico con aplicación IoT para monitoreo facial que brinde estimadores de desconcentración del estudiante universitario en el aula a escala de laboratorio*. Diciembre 4, 2018, de Universidad Técnica del Norte, Ecuador Sitio web: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5873/2/ARTICULO.pdf>

[7]. Salmjazar, R., & Jiménez, M. (2014). *Diseño e implementación de un sistema electrónico utilizando la red GSM que envíe un mensaje y reciba un código para habilitar el uso de un vehículo*. Diciembre 4, 2018, de Quito: Universidad Israel Sitio web: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/875>

[8]. Cevallos, H. (2016). *Implementación de un sistema electrónico por medio de NFC y BLUETOOTH para el encendido, apertura y cierre de puertas del Chevrolet Corsa Evolution Hatchback*. Diciembre 4, 2018, de Universidad Internacional de Ecuador Sitio web: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1680>

[9]. Arrufat, A. (2016). *Desarrollo de un controlador doméstico programable basado en Arduino para un sistema X10*. Diciembre 4, 2018, de Universitat Politècnica de València. Departamento de Informática de Sistemas y Computadores Sitio web: <https://riunet.upv.es/handle/10251/71115>

[10]. Ramlee, R., Leong, M., Singh, S., Ismail, M., Othman, M., Sulaiman, H., Misran, M., & Meor M.. (2013, January) *Bluetooth Remote Home Automation System Using Android Application*. *The International Journal of Engineering And Science (IJES)*, 2, pp. 149-153.



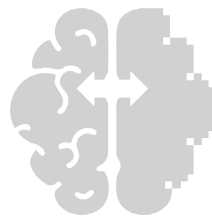


Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Artificial intelligence techniques in handover decision: a brief review



## Colaboración

**Josué Vicente Cervantes Bazán**; Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca / UAEM; **Alma Delia Cuevas Rasgado**; **Saúl Lazcano Salas**; **Farid Garcia Lamont**, Universidad Autónoma del Estado de México, **Jesús Cerquides Bueno**, Universidad Autónoma de Barcelona

**ABSTRACT:** *In this paper we present an analysis of intelligent artificial techniques applied to handover decision. Besides, we do an analysis of handover process by OSI model and the solutions from application layer, network and link. Our contribution to the state of the art is update intelligent artificial techniques adding ontologies. Besides, this paper is an overview of the active research topics in Handover.*

**KEYWORDS:** *Handoff decision, ANN, Fuzzy logic, Ontology, Intelligent artificial*

## INTRODUCCIÓN

The conception of the Internet was born from the Advanced Research Projects Agency (ARPA) in 1957, with the collaboration of Leonard Kleinrock et al, developed the ARPANET [1]. Afterwards, several researchers joined the development of the internet and it is conceived as a network of static networks. But, later with the evolution of the network of networks, wireless devices appear and with them the problem of mobility. That is, problems related with the physical change of the network and the problems inherent to the loss of continuity of services.

This work focuses on the investigation of mobility in IP networks, mainly in the handover procedure, its stages, protocols and applied techniques of artificial intelligence in decision making. That is why, an analysis is made from the perspective of each of the stages of the handover and it contributes to the classification of the proposals by the OSI model layer and the artificial intelligence techniques are updated in the decision making process.

This article is organized as follows, section 2 deals with the handover and its types, later in section 3, the process of acquiring network metrics is illustrated, later in section 4, the decisionmaking algorithms and their classification are mentioned. Then, in section 5, the execution of the handover and some of the most commonly used protocols, in section 6, there is an analysis and discussion of the proposals to show the conclusions in section 7.

**HANDOVER IN IP NETWORKS**

The handover or handoff in IP networks is the physical transition from one network to another. The handover is typified in two types of transition 1) handover horizontal and 2) handover vertical [2] When a Node Mobile (NM) changes of network in the same technology it performs a horizontal handoff. As shown in the dotted box of Fig. 1. But, if it changes of network with a different technology then perform a vertical handoff. So as shown in the vertical box of Figure 1.

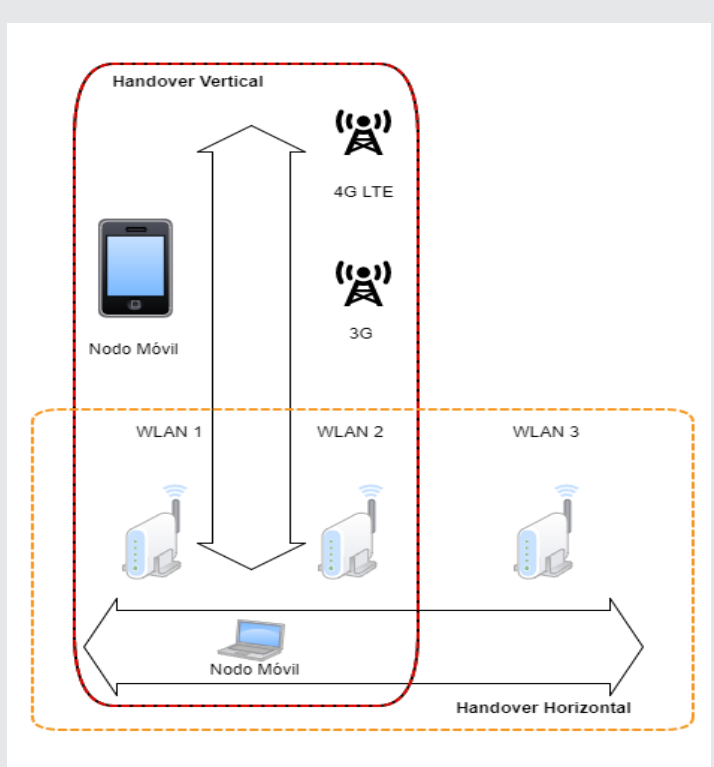


Figure 1. Vertical and horizontal handover, own elaboration.

The general procedure of the change process is classified in three stages according to [3] and [4], 1) Measurement of handover and initialization, 2) Handover decision and 3) Execution of the handover. In the first stage, the NM takes measurements of the metrics of the next networks, in the second stage, algorithms decide when to change networks and in the third stage, the necessary procedures are carried out to connect to the new network and reestablish the services, as well as it is shown in Figure 2.

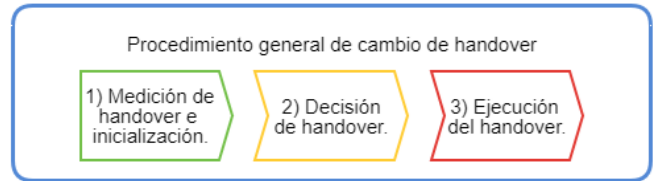


Figure 2. General procedure of the handover, own elaboration.

**MEASUREMENT OF HANDOVER AND INITIALIZATION**

In this first stage, the MN needs to find a potential network within its range, then it is necessary to scan the networks within its scope. In IEEE 802.11 networks [5] the process is divided into three stages: 1) Scanning, 2) Authentication and 3) Reassociation. In the scanning stage, the mobile node needs to find a potential access points within its range, this action can be carried out passively or actively [6]. In the active process, the mobile node sends a broadcast probe request message for each channel, then activates the probe timer and if it does not receive a response before the timer reaches MinChannelTime, the mobile node considers that there is no access point in that channel and it will have to scan another channel. Similarly, if the MN detects that the channel is not hidden, it must wait for a probe response message until the timer reaches the MaxChannelTime. Empirical measurements show that the MinChannelTime is approximately 20ms and the MaxChannelTime is approximately 40ms [7]. On the other hand, in the passive process the wireless network card waits for beacon type messages, sent periodically by the Access Points (APs) every 100ms in each channel, as the 802.11 standard has 14 channels but for Latin America only 11 channels they are used [8], then there is a greater time than a second of latency of scanning, conditions not favorable for applications in real time in WiFi networks.

Once the MN discovers the potential access points, so that it can enjoy the services offered by the AP, it must be authenticated and associated. Broadly speaking, a node can be authenticated or not depending on the security scheme, that is, if the system is open (Open system), supports any host without authentication. Otherwise, it supports only MNs that know the password (Shared Key). Finally, the association process consists in the exchange of two messages between the AP and the MN: association request and association response. Once the node receives the message the association response is ready to send and receive messages through the AP.

**HANDOVER DECISION**

The algorithm responsible for making the decision is one of the stages that directly influences the performance of the handover. Basically, at this stage it is decided to which network is going to change, multiple algorithms have been proposed in the literature that use

schemes based on Received Signal Strength (RSS), Quality of Service (QoS), decision functions based on multicriteria and algorithms based in artificial intelligence techniques. In general terms, the decisionmaking algorithm is fed from the data provided by the network, after processing the data, then decides which network to change, this idea is illustrated in Figure 3.

Some of the criteria most used to make the decision to change are: Received Signal Strength Indicator (RSSI), power level of the signals received in wireless networks, Network Load (NL), the traffic load in a network can be an important parameter by the channel capacity, Bit Error Rate (BER), It is the number of received bits that have been altered due to noise or interference, divided by the total number of bits transferred during the time of the interval. Throughput, this measure refers to the amount of data or messages it receives successfully, in a specific channel, Signal to Noise Ratio (SNR), is defined as the ratio between the signal power that is transmitted and the power of the noise that corrupts it. In addition, user preferences such as the cost of the network and security.

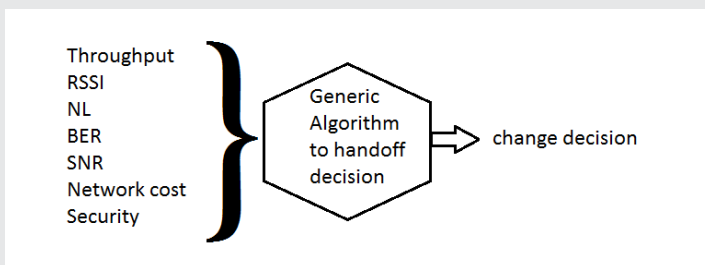


Figure 3. Generic algorithm for change decision making, own elaboration.

The trend in the literature reviewed shows that the networks will be more heterogeneous, in this way, a vertical handover will be more common. By making a synthesis of some of the revised algorithms, they are classified based on the main criteria they use to make the decision.

### ALGORITHMS BASED ON A DECISION CHARACTERISTIC

**Algorithms RSSbased.** Algorithms based on the strength of the signal only, are easy to implement due to their unique criteria. But, they only serve to unleash the handover process, because it is very sensitive to change, when it finds a network with better RSS, it triggers a new handover.

In horizontal handover it is common to use the RSS as the only parameter of change. The iconic algorithm of this scheme is the "greatest potential" algorithm [10]. In essence, it makes a change to the network that has the most RSS, because it has greater reception than the previous network and in theory that implies a smaller packet loss, however this algorithm generates a pingpong effect, which causes the opposite.

The pingpong effect consists of performing unnecessary handovers and increases the handoff rate (handoff number during a data session). Multiple authors try to reduce the pingpong effect, using thresholds [11]. On the other hand, in [12] they use Received Signal to Noise Interference (RSNI). All the previous proposals try to reduce the number of unnecessary handovers.

**Algorithms based on bandwidth.** This type of algorithm is governed by the principle of switching to networks with a better bandwidth to obtain a better throughput in vertical handover, as in [13] that presents a proposal for a soft vertical handoff and in [14] that propose an algorithm of decision making based on the bandwidth for a vehicular network ad hoc networks (VANET)

### ALGORITHMS BASED IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE Algorithms based on Artificial Neural Networks (RNA).

The neural networks in the handover have been applied to solve the change decision making in heterogeneous networks. In [15] they propose an artificial backpropagation neural network using the RSS input parameters and the traffic intensity in the target networks, supervising the training of the network, however the delay caused by the training stage is a problem. Otherwise, in [16] a Middleware based on an RNA is proposed to select the best network based on user preferences, however, it increases the latency during the execution of the handover due to the size of the signaling packets used and the training time. Another current proposal in [17] proposes a neural network with RSSI input parameters and the speed of the mobile node, reducing the number of unnecessary handover.

### Algorithms based on fuzzy logic.

Vertical handover algorithms involve several factors and some factors can hinder quantification. Fuzzy logic can be applied to solve change decision problems with parameters that can be fuzzified. Some proposals, such as [18-21], use these policies to make change decisions and at the same time try to balance the burden of the networks efficiently. Using the input parameters such as RSSI, latency and data rate.

### Algorithms based on Ontologies.

In 1993 Gruber defined in [22] the term of Ontology, according to him it is known as an "Explicit and formal specification of a shared conceptualization". In this research topic, proposals are developed as in [23] that propose an Ontological knowledge base for an appropriate selection of network, depending on the RSS parameters, bandwidth and network cost, managing to reduce the pingpong effect.

In [24] they propose the use of ontological domains for handover in such a way as to structure the information to provide a semantic meaning in such a way that it determines a common vocabulary that reduces the complexity in the decision making.

**Algorithms based on Deep learning.**

Deep learning according to [32] allows computational models that are composed of multiple processing layers to learn representations of data with multiple levels of abstraction. In this context approach as [33] presents a machine learning based handover management scheme for LTE to improve the Quality of Experience (QoE) of the user in the presence of obstacles. In other hand, a deep learning based handover mechanism for UAV networks [34], they use a trajectory prediction model based on neural network to improve network performance.

**EXECUTION OF HANDOVER**

This section deals with representative execution protocols and presents some of the proposals reviewed in the literature from the OSI model approach.

There are different preferences in the handling of the handover procedure, some prefer the network layer and others the application layer. In the same way there are reactive and proactive proposals. That is, there are protocols that anticipate their arrival to the new network to avoid delays and loss of packages that are proactive proposals. In another scenario, the protocols that take measures after the transfer are reactive.

**Analysis from the application layer**

The seven layer of the dominant protocol is the Session Initiation Protocol (SIP). The SIP protocol [26], is able to support the mobility of terminals, mobility of sessions, personal mobility and mobility of service, in addition SIP has been widely accepted as the signaling protocol in the new wireless networks, therefore SIP seems to be an attractive candidate for the management of communication services in heterogeneous IP wireless networks at the application level, however, SIP implicates the processing in the application layer introducing a considerable delay. In this layer, experts agree that the main contributor to delay is the stage of acquiring IP addresses, because they use the Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), and in this protocol there is a procedure called Duplicate Address Detection (DAD) that avoids duplicated IP addresses in the network, taking between 1 to 3 seconds.

**Analysis from the network layer.**

The network layer seems to be preferred to handle IP mobility, basically when it comes to mobility at the network level, we must speak of Mobile IP (MIP), since MIP is the protocol representative of this layer. It was originally proposed by C. Perkins, et al. [27], in 1996, since then many researchers have contributed to improve the protocol.

Mobile IP defines three basic components: 1) Mobile Node, 2) HA (Home Agent) special entity located in the node's originating network, the HA knows at all times where the MN is and finally the 3) FA (Foreign Agent),

another special entity located in the destination network, in charge of delivering the packages addressed to the MN. These components cooperate to locate and record the current IP address of the MN that moves through different IP subnets(Hamdaoui,2004), that is, it is designed to provide a transparent packet transfer service for higher layers, commonly using the tunnelling protocol [27].

This process consists of two phases: 1) "agent discovery" and 2) "registration". Agent discovery is the period where the MN detects that it is moving from one subnet to another and obtains a new address, called CoA (CareOfAddress) [29]. On the other hand, the Registration procedure consists of informing the HA of the MN CoA, in order to keep the IP address of the MN updated and to forward the packets from the originating network to the destination network using a virtual tunnel [30].

**ANALYSIS AND DISCUSSION**

In this section a comparative table of the different proposals presented in this article is presented. Segmented by handover stage.

*Table 1. Comparison of proposals of stage 1) Measurement of handover and initialization. Own elaboration.*

proposal	Name of the proposal	Year	Technologies	Loss of packages	Scan time	Handover time layer2
5	Practical schemes for smooth MAC layer handoff in 802.11 wireless networks.	2006	802.11	4 packages	1.1s	40 ms
6	An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process	2003	802.11	-	500ms	48.5 ms
7	A neighbor caching mechanism for handoff in IEEE 802.11 wireless networks	2007	802.11	-	2.4 s	50ms

*Table 2. Comparison of proposals of stage 2) Decision of handover*

Proposal	Name of the proposal	Year	technologies	Input values	AI Technique
9	Novel framework for proactive handover with seamless multimedia over WLANs	2014	802.11	RSS	-
11	Analysis of Vertical Handover Based on RSS and QoS Parameter. Networking and Communication Engineering	2015	802.11	RSS	-
12	A softer vertical handover algorithm for heterogeneous wireless access networks	2010	UMTS-WLAN y WiMAX-WLAN	Bandwidth	-
13	Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks	2009	GPRS/UMTS WLAN	Bandwidth	-
15	Middleware vertical handoff manager: A neural network-based solution	2007	4G, WLAN, 802.16	cost, security, power consumption, network conditions	RNA
16	Handover Decision in Wireless Heterogeneous Networks Based on Feedforward Artificial Neural Network. In Computational Intelligence in Data Mining	2017	-	RSSI, Mobile speed	RNA
17	An adaptive fuzzy logic based handoff algorithm for interworking between WLANs and mobile networks	2002	WLAN, UMTS	RSS, speed	Fuzzy logic
18	A novel fuzzy logic vertical handoff algorithm with aid of differential prediction and pre-decision method	2007	UMTS WLAN	RSS, speed,	Fuzzy logic
19	Vertical Handoff Decision Using Fuzzification and Combinatorial Fusion	2017	Wi-Fi, 4G	RSS, Data rate, network delay	Fuzzy logic
20	Fuzzy multiple attribute decision access scheme in heterogeneous wireless network	2017	3GPP, WLAN	QoS, network link, cost	Fuzzy logic
22	Towards a knowledge-based intelligent handover in heterogeneous wireless networks	2010	-	RSS, bandwidth cost, user preferences	Ontologies
23	DOHand: An ontology to support building services to exploit handover information in mobile heterogeneous networks	2006	GSM, UMTS, WiMax, WiFi	Ontologies	

The proposals in Table 1, try to reduce the scanning time, in this way reduce the link layer handover. Otherwise, in the decision stage of handover (see, Table 2), most of the proposals use RSS as a decision parameter, but they add some other features to avoid the pingpong effect. Also, it can be observed that fuzzy logic and RNA are the most used artificial intelligence techniques and the horizontal handover was performed between UMTS and WLAN, now with the evolution to 4G, it is performed in LTE and WLAN, although not limited to these technologies. In general terms, the scientific community continues to investigate this topic of research, as can be seen from the years of publications.

## CONCLUSIONS

Networks are increasingly heterogeneous, mobile nodes acquire more connection, processing and storage interfaces. In this way the quality of the communications improves and the investigations converge in making faster the transfers from one network to another, avoiding the loss of packages. In terms of the general procedure of the handover, 1) Measurement of handover and initialization, the researchers try to reduce the time of scanning and acquisition of metrics for the next phase. 2) Handover decision, this stage multiple artificial intelligence proposals have been proposed, among the most popular are neural networks but the training time does not help to reduce handover latency. But, simpler proposals generate the pingpong effect if only one parameter is used as the RSS. That is, there must be a balance between temporality and quality of service. Finally, in stage 3) Execution of the handover, researchers continue to develop new protocols to minimize the signaling and delay generated by the handover execution procedure.

## REFERENCES

[1]. O'Neill, J. E. (1995). *The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961-1972*. *IEEE Annals of the History of Computing*, 17(4), 76-81.

[2]. Khan, M., Din, S., Gohar, M., Ahmad, A., Cuomo, S., Piccialli, F., & Jeon, G. (2017). *Enabling multimedia aware vertical handover Management in Internet of Things based heterogeneous wireless networks*. *Multimedia Tools and Applications*, 123.

[3]. Kassar, B. Kervella, and G. Pujolle, "An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks," *Computer Communications*, vol. 31, no. 10, pp. 2607 - 2620, 2008.

[4]. J. McNair and F. Zhu, "Vertical handoffs in fourthgeneration multinet network environments," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 11, no. 3, pp. 8-15, June 2004.

[5]. *IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. (1997). Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. IEEE Standard 802.11-1997.*

[6]. Liao, Y., & Gao, L. (2006, June). *Practical schemes for smooth MAC layer handoff in 802.11 wireless networks*. In *Proceedings of the 2006 International Symposium on on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks* (pp. 181190). *IEEE Computer Society*.

[7]. Mishra, A., Shin, M., & Arbaugh, W. (2003). *An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process*. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 33(2), 93102.

[8]. Li, C. S., Tseng, Y. C., & Chao, H. C. (2007, April). *A neighbor caching mechanism for handoff in IEEE 802.11 wireless networks*. In *Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007. MUE'07. International Conference on* (pp. 4853). *IEEE*.

[9]. D. Astely et al., "LTE: The Evolution of Mobile Broadband," *IEEE Comm.*, vol. 47, no. 4, 2009, pp. 44-51.

[10]. Ahmed, A., Boulahia, L. M., & Gaiti, D. (2014). *Enabling vertical handover decisions in heterogeneous wireless networks: A stateofheart and a classification*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(2), 776811.

[11]. Saxena, N., & Roy, A. (2011). *Novel framework for proactive handover with seamless multimedia over WLANs*. *IET communications*, 5(9), 12041212.

[12]. Kwak, J. A. (2012). U.S. Patent No. 8,116,692. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[13]. Saini, Y., Kumar, S., & Sharma, D. (2015). *Analysis of Vertical Handover Based on RSS and QOS Parameter*. *Networking and Communication Engineering*, 7(7), 289292.

[14]. B. Alessandro, "A softer vertical handover algorithm for heterogeneous wireless access networks," in *PIMRC. IEEE*, 2010, pp. 2156-2161.

[15]. S. Lee, K. Sriram, K. Kim, Y. H. Kim, and N. Golmie, "Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 2, pp. 865 -881, 2009.

[16]. N. Kohl and R. Miikkulainen, "Evolving neural networks for strategic decisionmaking problems," *Neural Netw.*, vol. 22, no. 3, pp. 326-337, 2009

- [17]. N. Nasser, S. Guizani, and E. AlMasri, "Middleware vertical handoff manager: A neural network-based solution," in *IEEE International Conference on Communications.*, 2428 2007, pp. 5671 –5676.
- [18]. Mahira, A. G., & Subhedar, M. S. (2017). *Handover Decision in Wireless Heterogeneous Networks Based on Feedforward Artificial Neural Network*. In *Computational Intelligence in Data Mining* (pp. 663669). Springer, Singapore.
- [19]. Majlesi, A., & Khalaj, B. H. (2002, September). An adaptive fuzzy logic based handoff algorithm for interworking between WLANs and mobile networks. In *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. The 13th IEEE International Symposium on* (Vol. 5, pp. 24462451). IEEE.
- [20]. Xia, L., Jiang, L. G., & He, C. (2007, June). A novel fuzzy logic vertical handoff algorithm with aid of differential prediction and predecision method. In *Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on* (pp. 56655670). IEEE.
- [21]. Kustiawan, I., Liu, C. Y., & Hsu, D. F. (2017). *Vertical Handoff Decision Using Fuzzification and Combinatorial Fusion*. *IEEE Communications Letters*.
- [22]. Chen, W., Gong, S., & Jiang, X. (2017). Fuzzy multiple attribute decision access scheme in heterogeneous wireless network. *Multimedia Tools and Applications*, 117. Springer
- [23]. Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199220.
- [24]. Ahmed, A., Boulahia, L. M., Gaiti, D., & Amoud, R. R. (2010, October). Towards a knowledgebased intelligent handover in heterogeneous wireless networks. In *Local Computer Networks (LCN), 2010 IEEE 35th Conference on* (pp. 284287). IEEE.
- [25]. Vanni, R. M. P., Moreira, E. S., & Goularte, R. (2006). DOHand: An ontology to support building services to exploit handover information in mobile heterogeneous networks. In *Proceedings of 5th International Information and Telecommunication Technologies Symposium* (Vol. 1, pp. 105112).
- [26]. Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., & Schooler, E. (2002). SIP: session initiation protocol (No. RFC 3261).
- [27]. Johnson, D., Perkins, C., & Arkko, J. (2004). *Support in IPv6*". RFC 3775, June.
- [28]. Hamdaoui, B., & Ramanathan, P. (2004). A networklayer soft handoff approach for mobile wireless IPbased systems. *IEEE Journal on selected Areas in Communications*, 22(4), 630642.
- [29]. Lee, D., Hwang, G., & Oh, C. (2002). Performance enhancement of Mobile IP by reducing outofsequence packets using priority scheduling. *IEICE Transactions on Communications*, 85(8), 14421446.
- [30]. El Malki, K. (2007). *Lowlatency handoffs in mobile IPv4*.
- [31]. Alnas, M., Awan, I., & Holton, D. R. (2009, October). Handoff mechanism in Mobile IP. In *CyberEnabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, 2009. CyberC'09. International Conference on* (pp. 176179). IEEE
- [32]. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning*. *nature*, 521(7553), 436.
- [33]. Ali, Z., Baldo, N., Mangues-Bafalluy, J., & Giupponi, L. (2016, April). Machine learning based handover management for improved QoE in LTE. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2016 IEEE/IFIP* (pp. 794-798). IEEE.
- [34]. Yang, H., Hu, B., & Wang, L. (2017, December). A deep learning based handover mechanism for UAV networks. In *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2017 20th International Symposium on* (pp. 380-384). IEEE.

#### ACKNOWLEDGMENT

We appreciate the infrastructure provided by Technician of Higher Studies of Ixtapaluca(TESI) and Autonomous University of the State of Mexico(UAEMex), because because this research could not be done without your valuable support because this research could not be done without your valuable support.



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes



# Cuantificación y evaluación de la calidad de pectina extraída de cáscaras en tres variedades de mango (*Mangifera indica* L.) de la región mixteca baja poblana

**RESUMEN:** Con el objetivo de cuantificar y determinar la calidad de pectinas debido a la variedad de mango cultivadas en la región mixteca baja poblana (manila, chapita y criollo), estado de maduración (verde y maduro), tipo de ácido empleado en la solución extractante (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido cítrico) y valor de pH (2.0 y 3.0), se utilizó un diseño experimental del tipo factorial evaluando un total de 36 tratamientos. La cuantificación de la pectina se realizó a partir del rendimiento y calidad de pectina se expresó mediante porcentaje de grado de esterificación, metoxilos y ácido galacturónico (AGA). El análisis de varianza y la comparación de medias por el método de Tukey, mostraron diferencias significativas en el rendimiento debido a la variedad de mango ( $p=0.04$ ), estado de madurez ( $p=0.00$ ) y pH ( $p=0.019$ ), en el grado de esterificación, únicamente por estado de madurez ( $p=0.000$ ), en porcentajes de metoxilos por la variedad ( $p=0.005$ ) y estado de madurez ( $p=0.000$ ); en porcentaje de ácido galacturónico por la variedad ( $p=0.033$ ) y estado de maduración ( $p=0.001$ ). Los resultados obtenidos en el presente proyecto muestran una alternativa de aprovechamiento de la producción de mango en la región mixteca.

**PALABRAS CLAVE:** Pectina, hidrólisis ácida, mango, estado de madurez.



## Colaboración

López-Aranda Erika; Pacheco-Contreras Víctor Inocencio; Escamilla-Ramírez Rosalinda; Romero-Cruz Anabel, Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio

**ABSTRACT:** With the objective of quantifying and determining the quality of pectins due to the variety of mango cultivated in the Mixteca region, low poblana (manila, chapita and criollo), state of maturation (green and mature), type of acid used in the extractant solution (hydrochloric acid, sulfuric acid and citric acid) and pH value (2.0 and 3.0), an experimental design of the factorial type was used evaluating a total of 36 treatments. The quantification of pectin was made from the yield and quality of pectin was expressed by percentage of esterification degree, methoxyls and galacturonic acid (AGA). The analysis of variance and the comparison of means by the Tukey method, showed significant differences in yield due to the variety of mango ( $p = 0.04$ ), state of maturity ( $p = 0.00$ ) and pH ( $p = 0.019$ ), in the degree of esterification, only by state of maturity ( $p = 0.000$ ), in percentages of methoxyls by variety ( $p = 0.005$ ) and state of maturity ( $p = 0.000$ ); in percentage of galacturonic acid by the variety ( $p = 0.033$ ) and state of maturation ( $p = 0.001$ ). The results obtained in this project show an alternative to take advantage of mango production in the Mixtec region.

**KEYWORDS:** Pectin, acid hydrolysis, mango, state of maturity.

## INTRODUCCIÓN

Las pectinas se encuentran asociadas con carbohidratos principalmente con hemicelulosas en las paredes de los vegetales y son responsables de la firmeza de estos productos [1] por lo que están presentes en varias etapas del desarrollo molecular y transformación que dependen de la morfología y taxonomía de la planta durante las etapas de crecimiento y maduración de sus frutos.

La pectina como tal es un polisacárido, de elevado peso molecular, que está compuesto por una cadena lineal de moléculas de ácido

D-galacturónico (150-1500 unidades), fusionadas por enlaces glucosídicos 1-4-alfa, que conforman el ácido poligalacturónico [2,3]. Además, tiene cadenas laterales cortas de ramnosa, arabinosa, galactano, xilosa y fucosa. unidas por un enlace 1-2-alfa a las cadenas principales, conteniendo hasta un 20 % de estos azúcares neutros. La presencia de otros azúcares neutros varía con la especie vegetal provocando que sus estructuras sean diferentes dependiendo de la fuente de obtención. La pectina se encuentra en mayor cantidad en los frutos inmaduros y especialmente en algunos tejidos suaves, como en la cáscara de cítricos (naranja, limón, toronja y lima), en las manzanas, peras, etc.

El proceso de maduración en los vegetales provoca que exista una descomposición progresiva de polisacáridos (protopectina) de la pared celular, los cuales son solubilizados y despolimerizados por acción enzimática (poligalacturonasa (PG), pectinmetilesterasa (PME),  $\beta$ -galactosidasa ( $\beta$ -Gal), xiloglucanasa y xilanasas)[4], se incrementa durante la maduración disminuyendo el contenido y la calidad de las pectinas debido a que éstas tienen cadenas cortas con menor capacidad de gelificar, esta última definida como su grado de metoxilación, y baja viscosidad, esto debido a la actividad combinada sobre las uniones 1-4 alfa y los esteres metílicos de los grupos carboxilo esterificados con metanol [5,6].

A nivel industrial, la extracción de pectina se realiza a través de hidrólisis empleando soluciones de ácidos como clorhídrico, nítrico, ortofosfórico, acético glacial y cítrico. Las condiciones de extracción están en el rango de pH de 1.5-3, 60-100°C y 0.5-6 h [7] afectan la calidad y el rendimiento en porcentaje de pectina.

En la industria alimentaria, la pectina es un ingrediente importante, se usa como gelificante en mermelada y jaleas, espesante, emulsificante y estabilizante en productos lácteos, margarinas, mayonesa y salsas o sustitutos de la grasa de confitería y en helados [8]. Este polisacárido, también se ha usado para mejorar las propiedades mecánicas de las películas y recubrimientos de proteínas [9].

En la porción denominada cuenca alta del río Balsas se encuentra la mixteca baja poblana, localizada en el sur del estado de Puebla, con un clima cálido semiseco árido y con elementos xerofítico, pese a estas condiciones climáticas se han domesticado diversos frutales tales como pitaya de mayo (*Stenocereus stellatus*), ciruela roja y amarilla (*Spondias purpurea*) y el mango (*Mangifera indica* L), que se presenta en variedades tales como: chapita, criollo, manila, oro, perón, pescado, petacón y cuyos árboles se encuentran ubicados en los márgenes del río Tizac y huertos familiares o de traspatio, produciéndose en los meses de abril, mayo y junio; comercializados en su mayor proporción en

fresco en mercados locales y regionales de las áreas circunvecinas. En el año 2011, de acuerdo al censo de frutales en las localidades de Acatlán de Osorio, Xayacatlán de Bravo, Tetelcingo, Garzones Amatlán de Azueta y la Huerta, se contabilizaron 7480, 1666, 1324 y 310 árboles de mango criollo, manila, pescado y chapita, respectivamente. Aproximadamente, se tiene una producción de 8617 toneladas por año y tan sólo el 5.62 % se logra comercializar en fresco, el resto es afectado por factores ambientales como lluvias y corrientes de aire que provocan que los frutos de diferentes grados de madurez se desprendan del árbol y ya no sean aptos para la venta, aprovechándose para la alimentación de ganado caprino y el resto es materia orgánica que se queda esparcida por los terrenos.

Según la variedad, corresponden a un 33-85 % de la fruta fresca mientras que la cáscara y hueso tienen una cantidad de 7-24 y 9-40 %, respectivamente [10]. Estos residuos son una fuente de aceite, fibra alimenticia, polifenoles [10], componentes bioactivo, los cuales poseen varios efectos en la salud humana, Prieto et al. (2017)[2], Geerkens et al. (2015)[11], Sirisakulwat et al. (2008)[12], Koubala et al. (2007)[7], Berardini et al.(2005)[10], Rehman et al. (2004)[13], entre otros, han encontrado que las cáscaras de mango son una buena fuente de pectina, y que ésta presenta buen rendimiento, así como características de calidad comparables con la pectina comercial obtenida de la manzana y cáscaras de cítricos. De este modo, para el aprovechamiento de la elevada producción de este fruto, se evaluó la cantidad y calidad de la pectina de tres variedades de mango a partir del índice de madurez, tipo de ácido (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y ácido cítrico) y pH del agua acidulada, como alternativa rentable al desarrollo agroindustrial de la región de la mixteca baja poblana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Laboratorio Básico Multifuncional de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias del Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, ubicado en carretera Acatlán - San Juan Ixcaquixtla kilómetro 5.5, Unidad Tecnológica, C.P. 74949 Acatlán de Osorio, Puebla, México. Con coordenadas geográficas 18° 13' 28" LN y 98° 02' 19" LW, a 1211 msnm, con una temperatura media anual de 24.2 °C y clima seco, semiárido con lluvias en verano.

Para el presente proyecto se utilizaron tres lotes de aproximadamente 20 kg de tres variedades de mango: manila, chapita y criollo en estado de maduración verde y maduro endémicas de la región mixteca baja, los frutos fueron recolectados en la comunidad de Tianguistengo entre los meses de mayo - junio 2018 y conservadas en refrigeración hasta su procesamiento.

Los frutos fueron lavados con solución de hipoclorito de sodio, fueron secados con papel absorbente y

con la ayuda de un cuchillo se retiraron las cáscaras. Posteriormente, las cáscaras fueron sometidas a un lavado manual con agua potable para retirar la mayor cantidad de pulpa. Las cáscaras fueron inmersas en una solución de ácido cítrico 0.05 %, con la finalidad de inactivar las enzimas pectinesterasas que hidrolizan los grupos éster metílicos, formando metanol y como consecuencia, pectinas de menor metoxilo así como inactivando la enzima poligalacturonasa, que rompe los enlaces glucosídicos entre moléculas galacturónicas, despolimerizando la cadena a fracciones más cortas y, finalmente, finalmente llegando al monómero del ácido galacturónico. Las cáscaras secas fueron envasadas al vacío con la ayuda de una envasadora al vacío (marca CRT Global modelo DZ-300) y almacenadas en congelación (0°C) hasta la extracción de pectina.

Se utilizaron tres agentes de extracción, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido cítrico (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ácido cítrico). La obtención a nivel industrial se hace con soluciones ácidas calientes, para poder disociar la protopectina a pectina soluble. La solución acidulada de cada procedimiento de hidrolisis se preparó con ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ácido cítrico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) hasta ajustar a cada uno a pH 2.0. En una balanza analítica (marca VELAB modelo VE-204) se pesaron 200 g de cáscaras descongeladas a temperatura ambiente y se trituraron en una licuadora (marca Osterizer modelo 465-15) con una relación de cáscara-agua acidulada, 1:6, hasta un tamaño de partícula entre 0.2-0.5 cm. La mezcla se agregó a un matraz Erlenmeyer de 1000 mL. El matraz se colocó en una parrilla de calentamiento (Thermo modelo SP-131325), se mantuvo en agitación constante durante 90 minutos a temperatura de 90-95 °C; posteriormente, se filtró sobre tela de liencillo de manera manual y se enfrió para minimizar la degradación por efecto del calor. Para precipitar la solución péctica se le agregó alcohol etílico 96 % V/V, en una relación 1:2, formándose coágulos gelatinosos de coloración amarilla, cuya intensidad de color dependió del estado de madurez. Posteriormente la pectina obtenida, se filtró y presó sobre un liencillo, se lavó con alcohol etílico al 96 % para eliminar todas las sustancias solubles en alcohol y subsiguientemente, se secó en un horno de desecación (marca Felisa modelo FE-242) a 60 °C hasta una humedad aproximadamente menor de 12%.

La calidad fisicoquímica de la pectina extraída se estimó mediante el rendimiento [2,15], el cual se determinó con base a la cantidad de pectina obtenida en base seca referente a la cantidad de cáscara de mango empleada(g) por cien [2]. El grado de esterificación, contenido de metoxilos (%Metoxilos) y la cantidad de ácido galacturónico (%AGA), se determinaron empleando el método de valoración de Schultz [14,15,16,17, 18, 19], en el cual una solución de 0.5 g de pectina /100 mL de agua se tituló con NaOH 0.1 N (meq

A) Luego se añadió 25 mL de NaOH 0.25N, se dejó reposar por 30 min, y se agregó 25 mL de HCl 0.25N; se tituló con NaOH 0.25N (meq B).

Para estimar el efecto de la variedad, estado de maduración, agente extractante y pH sobre las variables de estudio, se utilizó un diseño experimental del tipo factorial con cuatro factores, con tres niveles de variedad (manila, chapita y criollo), dos niveles de maduración (verde y maduro), tres niveles de ácido (clorhídrico, sulfúrico y cítrico) y dos niveles de pH (2.0 y 3.0) con un total de 36 unidades experimentales, con tres repeticiones.

El análisis para determinar el efecto del pH, agente extractante, variedad y grado de madurez sobre el rendimiento, grado de esterificación, metoxilos, ácido galacturónico, cenizas y humedad se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento de modelos lineales generales (GLM). Para cada uno de los efectos se realizó la comparación de medias usando la prueba de comparación de Tukey. Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico Minitab (Versión 17). En todos los análisis, se consideró un valor de Alpha ≤ 0.05 como efecto significativo.

## RESULTADOS

### Efecto de la variedad, ácido, pH y grado de madurez sobre el porcentaje de rendimiento.

Los resultados revelaron que mayor concentración de pectina fue obtenida en cáscaras de mango manila verde a un pH de 2.0. Diferencias significativas fueron encontradas en el rendimiento de pectina debido a la variedad de mango (p=0.04), estado de madurez (p=0.00) y pH (p=0.019) no así para el tipo de ácido extractante (p=0.057); aunque el tipo de ácido no resultó tener efecto significativo en el rendimiento, mayor concentración de pectina fue encontrada al utilizar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Figura 1).

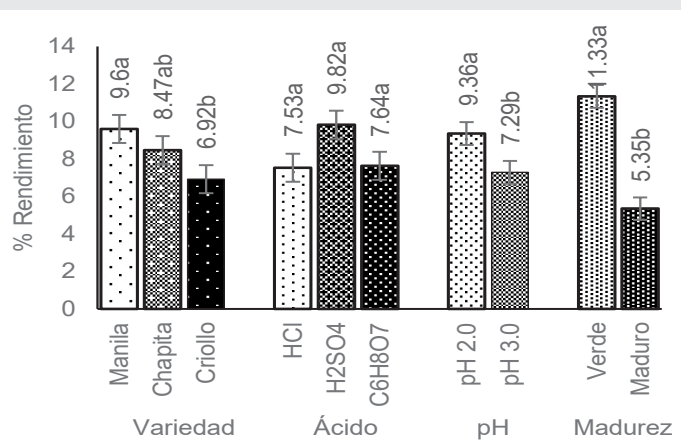


Figura 1. Valores de medias de cuadrados mínimos del rendimiento de pectina debido a la variedad, tipo de ácido, pH y estado de maduración del mango. Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes.

Los resultados encontrados debido al pH de la solución extractante en el presente estudio, coinciden con lo reportado por Sirisakulwat et al. (2008) [12] en cuatro variedades de mango: Kiew Sawoei, Nam Dokmai, Kaew Chuk y Kaew Khiew.

Aunque el tipo de ácido no tuvo efecto significativo en el rendimiento de pectina, mayor concentración de pectina (9.82%) se obtuvo utilizando ácido sulfúrico. De acuerdo a lo reportado por Baltazar et al. (2013) [15], el uso del ácido sulfúrico como extractante de pectina es viable, ya que obtuvieron un rendimiento del 10.5 a 52.2% de pectina en limón francés citrus médica, este resultado coincide con lo reportado por Berardini et al. (2005) [10] quienes encontraron un rendimiento del 12 al 21% en cáscaras de mango común. Estos resultados difieren con lo reportado por Sindoni et al. (2013) [20] quienes reportaron mayor rendimiento (12.07%) en dos variedades de maracuyá (Maracayera y San Antonio) utilizando HCl, muy arriba a lo encontrado en nuestro estudio (7.53%) utilizando HCl también por lo reportado por Gragasin et al. (2014) [21] en la variedad de mango carabao (4.5 %).

Con respecto al estado de madurez las cáscaras de mangos verdes presentaron un mayor contenido de pectina. Este resultado es explicado debido a que, en frutos verdes o inmaduros, existe mayor contenido de protopectina la cual conforme avanza la maduración se transforma en pectina que es la forma utilizable para la elaboración de mermeladas [1]. Pocos estudios han evaluado el estado de maduración en la extracción de pectina en mango, sin embargo, varios autores han comprobado que, en frutos verdes, se obtiene mayor rendimiento, tal como reportan Baltazar et al. (2013) [15] y Pua et al. (2015) [22] en limón francés y Tahití respectivamente, a un pH de 2.5 por 45 minutos y a 100°C.

**Efecto de la variedad, ácido, pH y grado de madurez sobre el porcentaje de grado de esterificación.** El grado de esterificación obtenido al utilizar ácido clorhídrico o ácido cítrico. El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades, en particular, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. El análisis estadístico indicó que, de los cuatro factores evaluados sobre el grado de esterificación de la pectina, únicamente el estado de madurez mostró efecto significativo ( $p=0.000$ ), donde muestras de mango en estado maduro presentaron mayor grado de esterificación (89.73 %) (Figura 2), esto se debe a que los procesos de maduración favorecen la disponibilidad de grupos carboxilos esterificados en mayor proporción.

La variedad empleada no mostro efecto significativo sobre el grado de esterificación, sin embargo, los resultados revelan que mayor porcentaje de grado

de esterificación se encontró al emplear la variedad chapita con 88.98%, este valor es superior a lo encontrado por Koubala et al. (2007) [7], en la obtención de pectina en dos variedades de mango, Améliorée y mango con 57 y 73%, respectivamente.

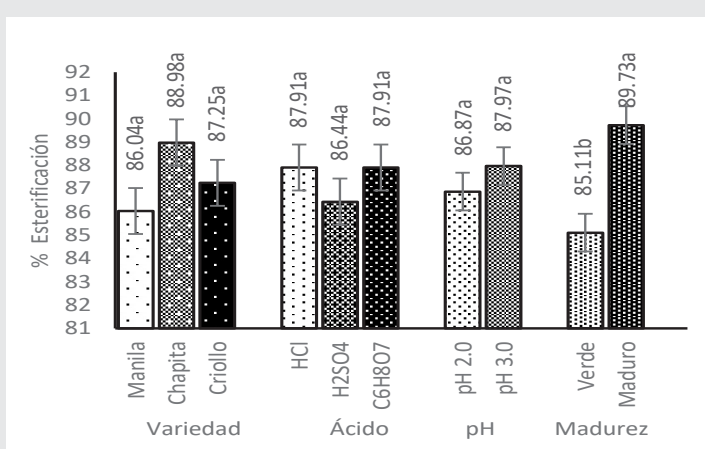


Figura 2. Valores de medias de cuadrados mínimos del grado de esterificación debido a la variedad, tipo de ácido, pH y estado de maduración del mango. Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes.

**Efecto de la variedad, ácido, pH y grado de madurez sobre el porcentaje de metoxilos.**

Mayor contenido de metoxilos se encontró al utilizar cáscaras de frutos maduros de la variedad criolla, estas pectinas en las cuales más del 50% de los grupos carboxilos del ácido galacturónico del polímero se encuentra esterificado con metanol. El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre la variedad ( $p=0.005$ ) y estado de madurez ( $p=0.000$ ) sobre el porcentaje de metoxilos. Aunque el tipo de ácido empleado y el pH 2.0 o 3.0 en la solución extractante no mostraron efecto significativo, mayor porcentaje de metoxilos fueron encontrados en cáscaras tratadas con ácido cítrico y a un pH 2.0 (Figura 3).

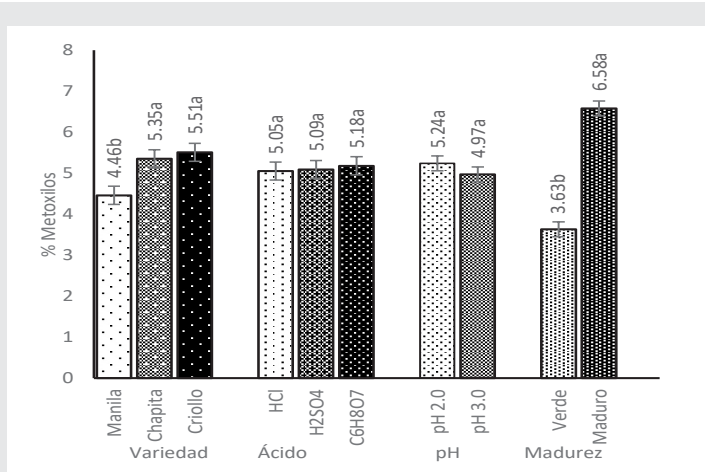


Figura 3. Valores de medias de cuadrados mínimos del porcentaje de metoxilos debido a la variedad, tipo de ácido, pH y estado de maduración del mango. Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes.

El análisis de varianza en el presente estudio mostró que la variedad criolla presentó mayor contenido de metoxilos con 5.51%, el efecto de la variedad sobre metoxilos en frutos ha sido reportado también por Chacín et al. (2010) [23] en frutos de guayaba ovoide (9.20 %) y redonda (9.40%). Los resultados encontrados sobre el porcentaje de metoxilos debido al estado a maduración, ha sido reportado en frutos por Pua et al. (2015) [22] al evaluar dos estados de maduración (verde y maduro) de limón Tahití y por Paredes et al. (2015) [18] en guayabas verdes (2.53%) quienes reportaron también decremento en porcentaje de metoxilos conforme avanzaba el proceso de maduración, estado pintón (1.64 %) y maduro (0.83 %).

### Efecto de la variedad, ácido, pH y grado de madurez sobre el porcentaje de ácido galacturónico(AGA).

Mayor porcentaje de ácido galacturónico se obtuvo al utilizar cáscaras de mango criollo y en estado maduro (40.26 % y 40.98 %, respectivamente). El contenido de ácido galacturónico está debajo del límite establecido para pectinas comerciales, de 65%. Por lo tanto, es posible que la pectina obtenida contenga impurezas como galactanos, xilanos, hemicelulosas u otras sustancias que son susceptibles a la precipitación alcohólica. El análisis estadístico indicó diferencias altamente significativas entre el estado de maduración ( $p=0.001$ ) y diferencia significativa entre la variedad ( $p=0.033$ ), sobre el porcentaje de ácido galacturónico. Aunque el tipo de ácido empleado y el pH 2.0 o 3.0 en la solución extractante no mostraron efecto significativo, mayor porcentaje de ácido galacturónico fue encontrado en cáscaras tratadas con ácido sulfúrico y a un pH de 2.0 (Figura 4).

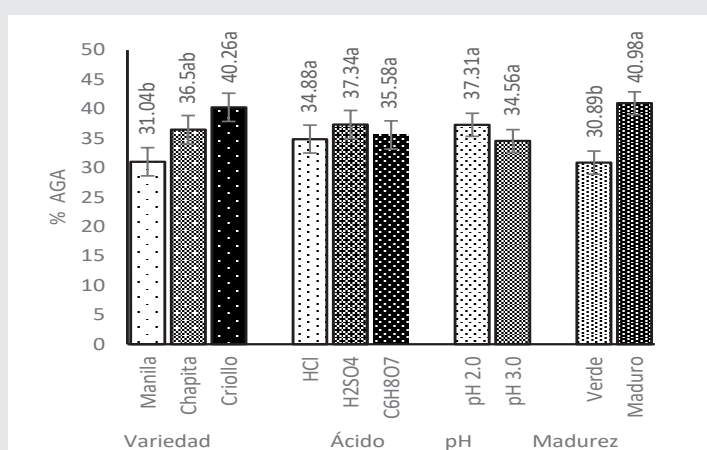


Figura 4. Valores de medias de cuadrados mínimos del porcentaje de ácido galacturónico debido a la variedad, tipo de ácido, pH y estado de maduración del mango. Medias con letras diferentes, son estadísticamente diferentes.

El estado de maduración en frutos afecta el porcentaje de ácido galacturónico, resultados similares fue-

ron reportados por Sirisakulwat et al. (2008) [12], en los mangos Kiew Sawoei, Nam Dokmai, Kaew Chuk y Kaew Khiew de 11.6, 26.4, 20.2 y 29.7 %, respectivamente en estado maduro.

El análisis estadístico no mostró diferencia significativa debido al efecto del ácido de la solución extractante sobre el porcentaje de AGA, sin embargo, el contenido de ácido galacturónico fue superior al utilizar ácido sulfúrico (37.34%). Estudios previos han reportado que el tipo de ácido y el pH de la solución extractante afectan significativamente en la extracción de pectina. Untiveros (2003) [24] reportó un porcentaje de 75.58 a 76.30 de pectina en manzana de la variedad Pachacamac, al utilizar ácido sulfúrico como agente de extracción. Barazarte et al. (2008) [25] reportan valores de 49.81 y 64.06% en pectina extraída en cáscaras de cacao utilizando un rango de pH 3.0, 4.0 y 5.0.

### CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de pectina (18.79 %), se obtuvo en mango manila en estado de madurez verde con la solución extractante de ácido sulfúrico a pH 2.0, la pectina obtenida de cáscaras de mango maduro de la variedad criolla en una solución de ácido sulfúrico a un pH de 2.0, presento un contenido de metoxilos mayor (8.41 %) y el mayor porcentaje de ácido galacturónico se obtuvo en cáscaras de mango maduro de la variedad manila y criolla utilizando solución de ácido sulfúrico a un pH de 2.0 (61.44 %), encontrándose debajo del límite establecido para pectinas comerciales, de 65 %. El porcentaje de metoxilos es alto y el porcentaje de ácido galacturónico es bajo con respecto a pectinas comerciales, por esta razón se determinó que el grado de esterificación, sirviera para categorizar a las muestras, de esta manera la pectina obtenida de muestras de cáscaras maduras de la variedad chapita en una solución de ácido sulfúrico a un pH 3.0, con un grado de esterificación del 93.55%, es considerada como pectina de alto metoxilo, con una mayor capacidad de gelificación y viscosidad, esto permitirá que forme geles en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60 y 70%; es por esto, que bajo estas condiciones, pueda ser considerada como una alternativa para la industrialización de la elevada producción de mango en la región mixteca baja poblana, lo que contribuirá al crecimiento socioeconómico en esta región, que se caracteriza por un alto

### BIBLIOGRAFÍA

[1] Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos*. México: Pearson Educación.93-94 pp.

[2] Prieto, C., Páez, G.; Ortega, J.; Araujo, K.; Már-mol, Zulay, Rincón, M.; Raga, J. (2017). *Optimización de las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de mango criollo empleando la metodología de superficie de respuesta*. *Revista Téc-*

nica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 40(3), 161-169.

[3] Loyola, M.; Pavez, P.; Lillio, S. (2011). Pectin extraction from cv. Pink Lady (*Malus pumila*) apples. Chile. Rev Cien. Inv. Agr.; 38(3), 425-434.

[4] Sañudo B. J.; Siller C. J.; Osuna E. T.; Muy R. D.; López Á.G.; Osuna C. J.; Greve, C.; Labavitch, J. (2008). Solubilización y despolimerización de pectinas durante el ablandamiento de frutos de papaya. Revista Fitotecnia Mexicana, 31 (2), 149-155.

[5] Vicens, A.; Fournand, D.; Williams, P.; Sidhoum, L.; Moutounet, M, Doco, T. (2009). Changes in Polysaccharide and Protein Composition of Cell Walls in Grape Berry Skin (Cv. Shiraz) during Ripening and Over-Ripening. Journal of Agriculture and Food Chemistry 57, 2955-2960.

[6] Donald, J.; Yasar, K.; Jiwon, J. (2001). Pectin degradation in ripening and wounded fruits. HortScience 13 (2), 224- 241

[7] Koubala, B. B.; Kansci, G.; Mbome, L. I.; Crépeau, M. J.; Thibault, J. F.; Ralet, M. C. (2007). Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from "Améliorée" and "Mango" mango peels. Food Hydrocolloids, 22:1345-1351.

[8] Casas, D.; Villa, A, Bustamante, F.; González, L. (2015). Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. Food Bioprod. Process. 96,86-98

[9] Pérez, C.D.; De Nobilla, M.D.; Rizzo, S.A.; Gerschenson, L.N.; Descalzo, A.M.; Rojas, A.M. (2013). High methoxyl pectin-methylcellulose films with antioxidant activity at a functional food interface. J Food Eng.116:162-169.

[10] Berardini, N.; Knodler, M.; Schieber, A.; Carle, R.(2005). Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. Innovative Food Science and Emerging Technologies.

[11] Geerkens, C. H.; Nagel, A.; Just, K. M.; Miller-Rostek, P.; Kammerer, D. R.; Schweiggert, R. M.; Carle, R. (2015). Mango pectin quality as influenced by cultivar, ripeness, peel particle size, blanching, drying, and irradiation. Food Hydrocolloids, 51,241-251.

[12] Sirisakulwat, S.; Nagel, A.; Sruamsiri, P.; Carle, R.; & Neidhart, S. (2008). Yield and Quality of Pectins Extractable from the Peels of Thai Mango Cultivars Depending on Fruit Ripeness. Agricultural and Food Chemistry, 56(22), 10727-10738.

[13] Rehman, Z. U.; Salariya, A. M.; Habib, F.; Shah, W. H. (2004). Utilization of Mango Peels as a Source of Pectin. Jour. Chem. Soc. Pak., 26(1), 73-76.

[14] Schultz, T.H. (1965). Determination of the degree of esterification of pectin, determination of the ester methoxyl content of pectin by saponification and titration. En. Methods in carbohydrate Chemistry. R, Whistler y J, BeMiller. Vol. 5, Academic Press, New York. 189 p.

[15] Baltazar, R.; Carbajal, D; Baca, N.; Salvador, D. (2013). Optimización de las condiciones de extracción de pectina a partir de cáscara de limón francés (*Citrus medica*) utilizando la metodología de superficie de respuesta. Agroindustrial Science, 2, 77-89.

[16] Cuenca N. G.; Intriago Flor Frank, I.F.; Viviana T. S.; Molina, R. J. (2017). Influencia del estado de coloración y del agente de extracción sobre la obtención de pectina a partir de dos variedades de maracuyá (*Passiflora edulis*). Revista la Técnica N° 18, 36 - 42. ISSN: 1390-6895 e-ISSN: 2477-8982

[17] Lozano-Grande, M. A.; Valle-Guadarrama S, Aguirre-Mandujano, E.; Lobato-Calleros, C. S. O, Huelitl-Palacios F. (2016). Películas basadas en emulsiones de pectina de frutos de tejocote (*Crataegus* spp.) y cera de candelilla: caracterización y aplicación en *pleurotus ostreatus*. Revista Agrociencia, 50 (7), 849-866.

[18] Paredes, J, Hernández, R, Cañizares, A. (2015). Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascós de guayaba (*Psidium* IDESIA (Chile) Junio-Agosto, Volumen 33(3), 35-41

[19] Rojas, J.; Perea, A.; Stashenko, E. (2008). Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 16(1): 110- 115.

[20] Sindoni, V. M.; Hidalgo, L. P.; Castellano, G.; Núñez-Castellano, K.; Burgos, M. E.; Ramírez, R. (2013). Efecto de dos fases de maduración sobre la cantidad de pectina obtenida en dos variedades de parchita (*passiflora edulis* f. *flavicarpa* degenner) de diferente procedencia. Revista Iberoamericana de Tecnología, 14 (2), 93-100.

[21] Gragasín, M.C.B.; A. R. Ligisan, R. C. Torres, and R. Estrella. (2012). Utilization of Mango Peels as Source of Pectin. PHILMECH Technical Bulletin Vol. 4 No.1. Philippine Center for Postharvest Development and Mechanization. Science City of Muñoz, Nueva Ecija. 20pp.

[22] Pua, A.; Barreto.; Vallejo G., D.; Ariza, C. (2015). *Extracción y Caracterización de la Pectina Obtenida a Partir de la Cáscara de Limón Tahití (Citrus X Latifolia) en dos Estados de Maduración*. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 180-194.

[23] Chacín, J.; & Marín, M.; D'Addosio, R. (2010). *Evaluación del contenido de pectina en diferentes genotipos de guayaba de la zona sur del Lago de Maracaibo*. *Multiciencias*, 10 (1), 7-12.

[24] Untiveros G.S.(2003). *Obtención y Caracterización de Pectinas de Alto Metoxilo y Bajo Metoxilo de la Manzana Variedad Pachacamac*. *Revista de la sociedad de química del Perú*, 69(3), 55-162.

[25] Barazarte, H.; E. Sangronis, and E. Unai. (2008). *La cáscara de cacao (Theobroma cacao L.): una posible fuente comercial de pectinas*. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 2008. *Sociedad Latinoamericana de Nutrición: Caracas*, 58(1), 64-70

#### Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento concedido para el desarrollo de esta investigación y a las Jefatura de la Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias e Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio.



# Mecánica *de* Materiales

---

Ingeniantes



# Desarrollo y Teleoperación de un Robot Móvil para la navegación y asistencia en espacios cerrados



## Colaboración

José Miguel Hernández Paredes; Jesús Arturo Escobedo Cabello Jesús Arturo; Benigno Muñoz Barrón Benigno; Luis Felipe Serna Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

**RESUMEN:** En el presente artículo se muestra el diseño y desarrollo de un robot móvil terrestre tele operado, el robot tiene una arquitectura diferencial y utiliza un lidar para la percepción de obstáculos y la generación del mapa de su entorno. El prototipo puede realizar retroalimentación visual a través del sensor Hokuyo LIDAR para su teleoperación. El dispositivo de control del robot consiste en una Raspberry PI la cual ejecuta ROS (Robot Operating System) para los algoritmos de navegación y planeación, además ejecuta las leyes de control, lectura de sensores y maneja la interfaz con los usuarios. La principal contribución es el sistema de navegación en interiores a través de la estimación de la posición y orientación del robot. Las pruebas se llevaron a cabo en el departamento de Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan para mostrar la funcionalidad del sistema.

**PALABRAS CLAVE:** Mapeo, SLAM, Navegación semi-autónoma, Robot, ROS.

**ABSTRACT:** This article shows the design and development of a teleoperated mobile robot. This is a differential drive mobile robot that uses a lidar for the obstacle perception and mapping of its environment. The prototype can perform visual feedback through a Hokuyo LIDAR sensor for teleoperation. The robot control device consists of a Raspberry PI which executes ROS (Robot Operating System) for the navigation and planning algorithms, also executes the control laws, sensors' reading and manages the users interface. The main contribution is the indoor navigation system through the estimation of the robot position and orientation. Tests were carried out in the Mechatronic's department of the Technological Institute of Huichapan to show the functionality of the system.

**KEYWORDS:** Mapping, SLAM, semi-autonomous navigation, Robot, ROS.

## INTRODUCCIÓN

La investigación en robótica móvil actualmente se enfoca tanto en el desarrollo de robots autónomos como teleoperados, y en ambos casos se utilizan una gran cantidad de sensores, donde las señales de retroalimentación y el procesamiento de datos

se llevan a la gran capacidad de las redes de super-computadores, y solamente la capacidad de movimiento se ubica en el robot.

Los robots móviles se pueden construir con base en diferentes diseños de plataformas, que se diferencian por los diversos sistemas de tracción que utilizan. Las plataformas más comunes utilizan el sistema de tracción diferencial, las cuales ocupan motores independientes para cada una de las ruedas que se sitúan sobre el mismo eje, además utilizan ruedas locas (de castor) o puntos de sostenimiento para proporcionar estabilidad mecánica a la plataforma [1].

Una forma de estimar la posición y orientación de un robot móvil es a través de la técnica de odometría, este método es el que se utiliza con mayor frecuencia en el control de movimiento en este tipo de sistemas robóticos, como principal ventaja es que solo se utilizan sensores de cuadratura digitales, lo que permite tener la posición y orientación con bajo recurso computacional, sin embargo, la desventaja principal de este método es que si por algún motivo una o más ruedas pierden contacto con el suelo el cálculo odométrico pierde precisión y exactitud, lo que se traduce en un error acumulativo en la posición y orientación de robot [2-4], es por ello que a estos sistemas se les agrega un sensor LIDAR que genera un plano con puntos equivalentes cada uno de ellos a las distancias de objetos de tal manera que el robot puede conocer su pose actual con referencia a un marco fijo [5-7].

Con el fin de poder realizar estudios teóricos sobre un robot móvil, se requiere disponer de un modelo matemático que describa el comportamiento real del sistema. Esto permite observar, a través de simulaciones, los efectos de diferentes eventos sobre el robot, y así planear estrategias de control para afrontar una tarea cualquiera [8].

Respecto a la tarea de teleoperación y autonomía, desde hace más de una década, los investigadores usan redes inalámbricas como un medio de transmisión de comandos que permiten manipular robots y obtener señales de retroalimentación. Aunque el WiFi tiene muchas ventajas en una gran variedad de campos, usándolo para teleoperar robots, también tiene algunas limitaciones, tales como el problema del retardo de tiempo incierto, la pérdida de datos y la seguridad en la transmisión [9]. Un estudio de los retardos presentes en las comunicaciones de robots teleoperados desde WiFi, se describe en [10], donde se propone un modelo del retardo de tiempo de Internet, el cual se verifica experimentalmente a través de datos reales. Pese a las dificultades, los robots teleoperados inalámbricamente, es un campo de investigación que crece en su desarrollo debido a la aparición de nuevos avances tecnológicos que facilitan la implementación de estos sistemas, como los disposi-

tivos transceptores, la masificación de cobertura o de acceso a Internet, el ancho de banda disponible a los usuarios actuales, el mejoramiento y el abaratamiento del hardware computacional, etc. Todas estas características aumentan las prestaciones y aplicabilidad de este tipo de sistemas [11].

En el caso particular de los robots móviles, se cuentan varias aplicaciones, tales como robots conectados en línea bajo condiciones estándar para que los usuarios los utilicen como plataforma para la prueba de algoritmos telemanufactura de piezas, la exploración de sitios distantes o de difícil acceso, por ejemplo, la NASA ha usado el Internet para el control de vehículos en el espacio, desde su centro local de operaciones y en colaboración con científicos distribuidos geográficamente en diferentes lugares del mundo [12] y [13]. También se aplica en robots destinados a tareas de seguridad y vigilancia, que son monitoreados desde Internet. Otra de tareas que se puede asignar a un robot móvil es servir como asistente en tareas repetitivas tales como el iRobot ROOMBA que aspira polvo de forma autónoma. En el presente artículo se muestra el modelo matemático que define a un robot móvil diferencial, el control de velocidad de las ruedas, el telecontrol, desarrollo de mapas en tiempo real utilizando ROS [14].

## MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se dividirá en 5 partes principales: diseño mecatrónico de la plataforma experimental, control, navegación, resultados y conclusiones.

En la parte de diseño mecatrónico se presentará el diseño, manufactura y ensamble de la estructura física del robot móvil, posteriormente se presentará el diseño y conexión de dispositivos electrónicos, así como la parte de instrumentación de sensores y actuadores del robot.

En la parte de control se explicará la implementación de los controladores PID de velocidad para cada elemento de tracción del robot, así como la obtención de las ganancias a través de la metodología de ZN (Ziegler y Nichols). En la sección de navegación se mostrará el diseño e implementación del sistema de telecontrol en ROS, explicando los tópicos y mensajes para la transferencia de datos a través de dicha arquitectura.

Finalmente se abordará la interconexión de las áreas mecánica, electrónica, control e informática para realizar la teleoperación, se presentarán los resultados de las pruebas de operación y de funcionalidad y finalmente se darán las conclusiones.

### Diseño mecatrónico de la plataforma experimental

La plataforma experimental se trata de un robot móvil diferencial que será utilizado como prototipo para

apoyar en la entrega de documentación dentro de un espacio con múltiples oficinas.

Esta plataforma cuenta con dos motores de corriente directa de alto torque con sensores de cuadratura incrementales, una unidad de control digital a bajo nivel Arduino Due y una unidad Raspberry Pi 3 con ROS y batería de respaldo, dos amplificadores de potencia para estimular la tracción diferencial, batería de 12 VDC de ácido-plomo, llantas de goma de 130 mm de diámetro, un sensor Kinect de Microsoft y un sensor láser para el mapeo del espacio de trabajo.

El proceso de diseño empieza con el desarrollo de un concepto original del prototipo, que además de ser agradable, que satisfaga las necesidades para las cuales se diseña, y se mejoran los prototipos actuales que se encuentran en la comunidad científica.

Para el presente trabajo se utilizó el Software de diseño SolidWorks [15] y [16], en el cual se dibujaron los componentes de robot, con el fin de conocer la estructura del mismo, las dimensiones necesarias, así como los cambios necesarios por obtener un prototipo funcional, la Figura. 1, muestra el diseño final ya armado.

Se eligió un diseño de tracción diferencial, debido a que es un sistema ampliamente utilizado y adecuado para realizar tareas de navegación autónomas o semiautónomas dada la sencillez del modelo.

La distribución de cada elemento, se realizó buscando mantener el centro de gravedad a la mitad de la distancia entre las ruedas de tracción como lo establece el modelo matemático de un sistema de este tipo. El robot fue diseñado de 3 niveles, uno para cada área de control, en la planta inferior se encuentran los elementos de potencia y el control de los drivers quien manipulará los motores los cuales cuentan con una reducción de 100:1; además cada motor cuenta con un sensor de cuadratura digital el cual genera un total de 3584 pulsos.

La implementación de los controladores propios de cada motor son programados en Arduino Due [17], la cual fue elegida por las capacidades computacionales de esta, dentro la cual sobresale la velocidad de reloj de 84 MHz con un CPU de 32 bits ARM, en dicha placa de desarrollo se programan los controladores de velocidad PID para cada rueda, esto porque el manejo y control de dirección se hace mediante la diferencia de velocidades de los elementos de tracción, para mover las ruedas se utilizan los drivers VN-H2SP30 [18].

Las ruedas son un elemento que debe analizarse ya que estas deben tener tracción necesaria para evitar que el prototipo pierda contacto con el suelo y el

cálculo de posición y orientación sea lo más preciso posible, atendiendo a esta problemática fueron seleccionados neumáticos de las siguientes características: llantas de caucho, de 130 mm de diámetro y 60 mm de ancho, haciendo énfasis en el ancho del neumático.

En el mismo primer nivel se sitúa la batería de ácido-plomo de 12 VDC, además se busca que los centros de masa de la batería y del robot empaten.

El segundo nivel del robot, es un espacio designado a la colocación del sensor laser URG-04LX-UG01 [19]. Este sensor es el encargado de enviar los datos pertinentes a la tarjeta Raspberry pi 3 [20], la cual tendrá una comunicación a través de una conexión Wi-Fi hasta otra computadora conectada a la misma red, la tarjeta mencionada establecerá la comunicación con el usuario quien ejecutará los comandos de dirección los cuales se envían a la tarjeta Arduino, siendo esta quien calcule la potencia en los controladores PID para manipular la dirección y orientación del robot. El sensor URG-04LX-UG01, es quien mapea el espacio de trabajo, esto con el fin de realizar el croquis que describe las posibles trayectorias.

En el tercer nivel se incorpora un segundo sistema de visión, para lo cual se incorporó un Kinect, el cual puede ser observado en la parte superior del diseño en la Figura. 1, dicho diseño fue tomado de [21].

Una vez establecido el diseño y el material a utilizar se exportó el archivo en formato CorelDraw para cortar las piezas de acrílico usando un cortador CNC laser. Las piezas fueron manufacturadas en acrílico transparente de 6 mm de espesor.

Cabe denotar que el robot diferencial mantiene las ruedas de tracción en la parte frontal, esto con la finalidad de que los elementos de visión mantengan su centro de gravedad de manera colineal con el del robot [3]. En la Figura 1 se muestra el robot ensamblado con todos los componentes que lo integran.



Figura 1 Propuesta de prototipo terminada

## Control de un robot móvil diferencial

En un robot móvil de ruedas del tipo diferencial la velocidad y dirección del móvil dependen de manera directa de la velocidad actual de cada una de las ruedas que se definen como  $\omega_r$  y  $\omega_l$ , si estas velocidades se igualan de tal manera que si  $\omega_r = \omega_l$  el robot avanzará en línea recta [8] y [22], el desplazamiento total del robot se define como:

$$D = \frac{D_r + D_l}{2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:  $D_r$  es desplazamiento de la rueda derecha y  $D_l$  es el desplazamiento de la rueda izquierda.

La Figura 2 los segmentos denotados como  $D_r$  son parte de una circunferencia de radio  $d+b$  y el perímetro de esta circunferencia está dada por la ecuación (2).

$$C_l = 2\pi(d + b) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:  $C_l$  es el perímetro de la circunferencia por la rueda izquierda,  $d$  es la distancia entre las ruedas,  $b$  define el giro con respecto al eje del robot y  $\theta$  es el ángulo de giro que define la orientación de móvil.

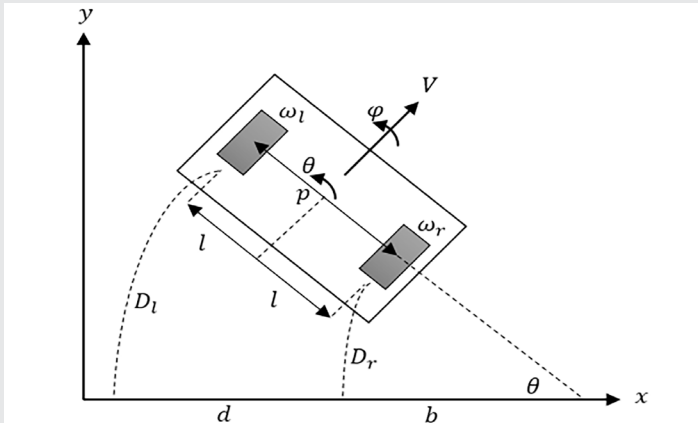


Figura 2 Vista superior del avance geométrico del robot

La ecuación (3) relaciona la distancia que recorre la rueda izquierda con el perímetro y el ángulo de giro con toda la circunferencia.

$$\frac{D_l}{C_l} = \frac{\theta}{2\pi} \quad \text{Ec. (3)}$$

Despejando  $\theta$  de (3) y sustituyendo (2):

$$\theta = \frac{D_l}{d + b} \quad \text{Ec. (4)}$$

La distancia  $D_r$  representa una porción de la circunferencia de radio  $b$  y  $C_r = 2\pi b$  define el perímetro de la rueda derecha y  $\theta$  el ángulo de giro con toda la circunferencia:

$$\frac{D_r}{C_r} = \frac{\theta}{2\pi} \quad \text{Ec. (5)}$$

Si se despeja  $b$  y se sustituye en (5) se obtiene el radio de giro con respecto al eje del robot, ecuación (6).

$$b = \frac{D_r}{\theta} \quad \text{Ec. (6)}$$

Sustituyendo  $b$  en (4) se puede definir el ángulo de giro del robot como:

$$\theta = \frac{D_l}{d + \frac{D_r}{\theta}} = \frac{D_l - D_r}{d} \quad \text{Ec. (7)}$$

La ecuación (7) define la orientación de robot en función de los desplazamientos de las ruedas izquierda y derecha, además, es independiente al camino que el robot tome.

En ocasiones el radio  $r_n$  de la rueda no es el real cuando la rueda toca el piso, es decir, el radio puede disminuir debido al peso que se ejerce en el robot, este efecto se muestra en la Figura 3.

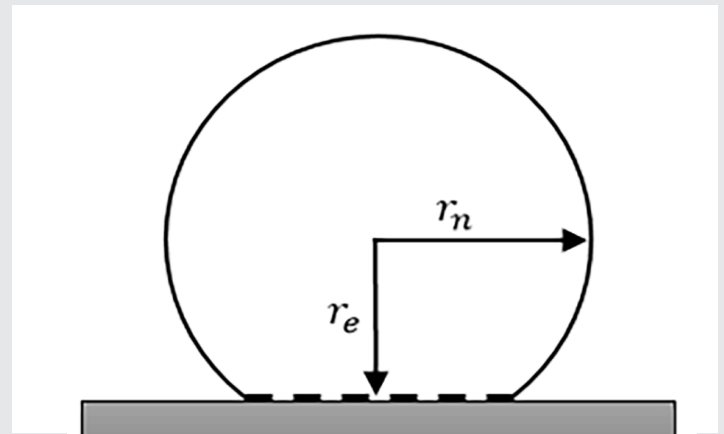


Figura 3 Compensación del radio por efectos del peso sobre la rueda

Entonces el radio efectivo  $r_e$  está en función de la compliancia de las ruedas y se puede determinar empíricamente.

Entonces la distancia que recorre la rueda derecha e izquierda al tomar en cuenta el efecto de compliancia se define en (8) y (9).

$$D_r = \frac{2\pi\theta_r}{360^\circ} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$D_l = \frac{2\pi\theta_l}{360^\circ} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:  $\theta_r$  y  $\theta_l$  corresponden al ángulo de giro de las ruedas derecha e izquierda respectivamente en grados.

Para calcular la posición en un plano de referencia (x,y) se utilizará la Figura 4.

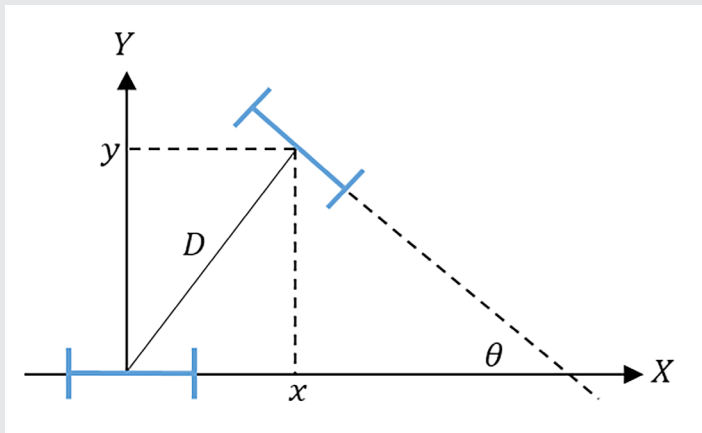


Figura 4 Estimación de la posición (x,y)

La obtención de las coordenadas en el eje x y el eje y es trivial ya que se trata de un simple triángulo rectángulo.

$$x = D * \sin(\theta) \quad \text{Ec. (10)}$$

$$y = D * \cos(\theta) \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:  $D$  es el desplazamiento total del robot que se define en la ecuación (1).

Si el radio de la rueda es  $r_e$ , las velocidades lineales [m/s] correspondientes son  $v_l = \omega_l r_e$  y  $v_r = \omega_r r_e$ . En este caso la velocidad lineal y angular en el modelo se definen como [3-4] y [8-9]:

$$v = \frac{v_r + v_l}{2} = \frac{(\omega_r + \omega_l)r_e}{2} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{d} = \frac{(\omega_r - \omega_l)r_e}{d} \quad \text{Ec. (13)}$$

Por otro lado si se especifica la velocidad lineal  $v$  en [m/s] y angular  $\omega$  del robot en [rad/s], las velocidades de giro que hay que aplicar a las ruedas izquierda y derecha son [3] y [23]:

$$\omega_l = \frac{v - \left(\frac{b}{2}\right)\omega}{r_e} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\omega_r = \frac{v + \left(\frac{b}{2}\right)\omega}{r_e} \quad \text{Ec. (15)}$$

La velocidad lineal y angular puede definirse en variables de control como [6]:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(r_e \sin(\theta))}{2} & -\frac{(r_e \sin(\theta))}{2} \\ \frac{(r_e \cos(\theta))}{2} & \frac{(r_e \cos(\theta))}{2} \\ -\frac{r_e}{b} & \frac{r_e}{b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_l \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (16)}$$

### Cálculo de la velocidad $\omega_l$ y $\omega_r$

El cálculo de estas dos velocidades angulares de las ruedas izquierda y derecha respectivamente es de

suma importancia puesto que si se conocen es posible controlarlas para darle ese movimiento deseado al robot. La velocidad angular de cualquiera de las ruedas se determina a través de la observación de un sensor del tipo digital que esta acoplado al eje de cada motor que permite el movimiento de la rueda, a este sensor se le conoce como encoder de cuadratura incremental y con la ecuación (17) [2] se puede determinar la velocidad de cada rueda.

$$w_{l,r} = 2\pi \frac{P_{l,r}}{P_t} \Delta t \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:  $w_{l,r}$  es la velocidad angular en [rad/s],  $P_{l,r}$  es el número de pulsos resultantes de la velocidad en la rueda izquierda y derecha respectivamente,  $P_t$  el número total de pulsos por vuelta de encoder y  $\Delta t$  el periodo de muestreo en [Hz].

### Control PID de velocidad angular

Para la tarea de controlar la velocidad de cada una de las ruedas se implementó una técnica de control PID, entonces con la finalidad de intentar llevar a cero el error de velocidad surge la justificación de aplicar un controlador PID en el control de robots [10] y [11]. La ley de control PID se puede expresar como:

$$\tau = K_p \tilde{\omega} + K_v \dot{\tilde{\omega}} + K_i \int_0^t \tilde{\omega}(t) dt \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde  $\tilde{\omega}$  y  $\dot{\tilde{\omega}}$  representan el error entre la velocidad angular deseada y la real medida  $\omega$ , las constantes  $K_p$ ,  $K_v$ ,  $K_i \in \mathbb{R}$ , llamadas respectivamente ganancias proporcional, derivativa e integral, son variables definidas positivas [10].

La sintonización de las ganancias  $K_p$ ,  $K_v$ , y  $K_i$  se realiza con el método de Ziegler y Nichols, estas reglas funcionan con sistemas que al aplicar un escalón unitario la respuesta es en forma de S, en la Figura 5 se muestra la respuesta típica de este tipo de sistemas.

Con los puntos  $L$  y  $T$  es posible determinar las ganancias del controlador PID con la Tabla 1 [12].

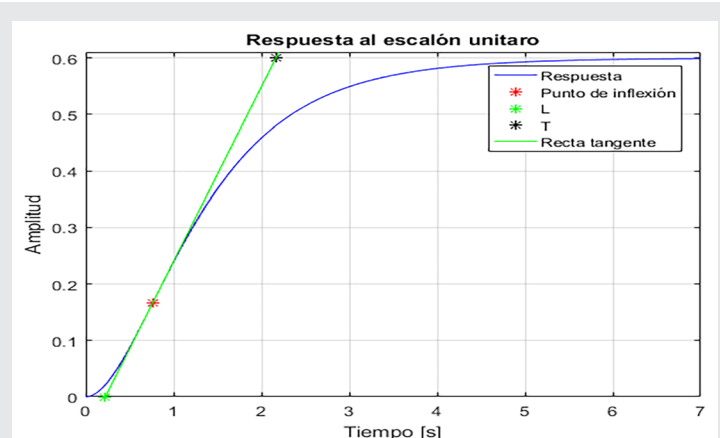


Figura 5 Respuesta de un sistema ante una entrada de escalón unitario en la que se observan las constantes de Ziegler y Nichols

Tabla 1 Criterios de Ziegler-Nichols

Tipo	Ki	Ti	Td
P	T/L	$\infty$	0
PI	$0.9*(T/L)$	$L/0.3$	0
PID	$1.2*(T/L)$	$2*L$	$0.5*L$

### Navegación y generación de mapas

ROS [14] proporciona una colección de herramientas, bibliotecas y convenciones que tienen como objetivo simplificar la tarea de crear un comportamiento robótico complejo y robusto en una amplia variedad de plataformas robóticas. Entre otras características importantes, ROS fomenta la abstracción de hardware, controladores de dispositivos, librerías, herramientas de visualización, comunicación por mensajes y administración de paquetes.

Usando como base el framework de ROS se procede a implementar y utilizar diferentes subsistemas. En combinación de algoritmos escritos en C++ para Arduino, en Python para ROS y el robot mecánico se implementó el sistema de navegación para el prototipo propuesto (ver Figura 6).

En primer lugar, se utiliza un nodo o (programa de ROS) que escucha al teclado de la computadora remota y dependiendo de las teclas que presione el operador enviará diferentes comandos de velocidad a la computadora on-board del robot a través del protocolo SSH.

Usando SSH, la máquina cliente inicia una conexión con la máquina del servidor mediante una sesión cifrada, evitando que alguien pueda obtener una contraseña o cualquier otro tipo de información que se envíe por la red [24]. ROS utiliza el protocolo SSH para realizar redes de computadoras para compartir información propia del sistema operativo, lo que permite extender su alcance.

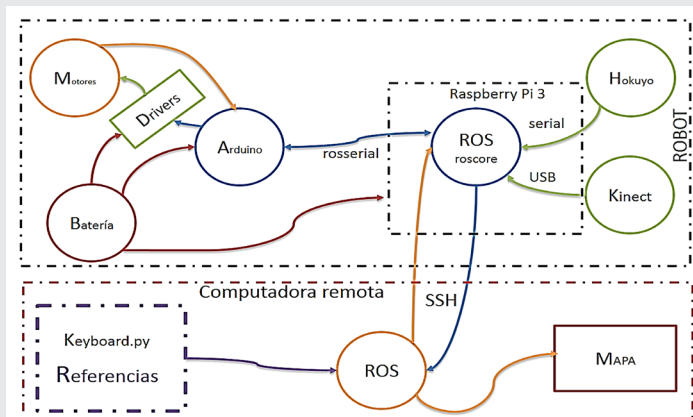


Figura 6 Esquema general de navegación y mapeo con el prototipo propuesto

Los pasos a seguir para ejecutar el sistema de teleoperación son los siguientes:

En el robot:

1. Lanzar el ROS maestro (roscore)
2. Lanzar el nodo roserial (comunicar con el firmware de Arduino) en Raspberry pi 3
3. Lanzar el nodo urg\_node
4. Lanzar el nodo hector\_slam

En la computadora remota:

1. Lanzar un driver traductor para compatibilidad entre mensajes del robot y los mensajes estándar de ROS.
2. Lanzar el visualizador de ROS rviz
3. Lanzar el programa de telecontrol keyboard.py.

### RESULTADOS

Para validar los controladores PID de velocidad de las ruedas como el cálculo de odometría se realizaron dos pruebas que el robot debe realizar: 1) trayectoria lineal y 2) trayectoria circular.

En la Figura 7 se muestra la trayectoria del robot como resultado de haber seguido una referencia trayectoria en línea recta.

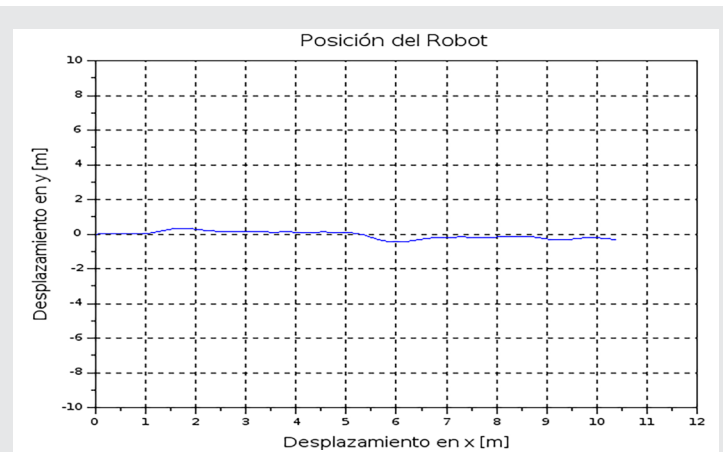


Figura 7 Prueba 1, trayectoria del robot en el plano

Para la prueba 2 (Figura 8 y 9), se siguió una trayectoria circular con un diámetro de 95 cm.

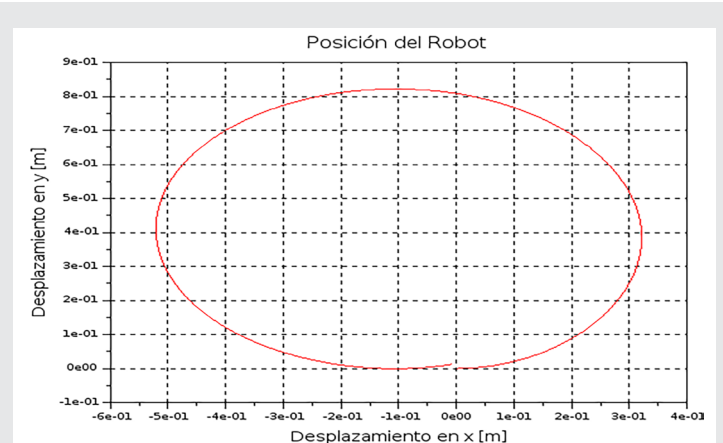


Figura 8 Prueba 2) trayectoria del robot en el plano

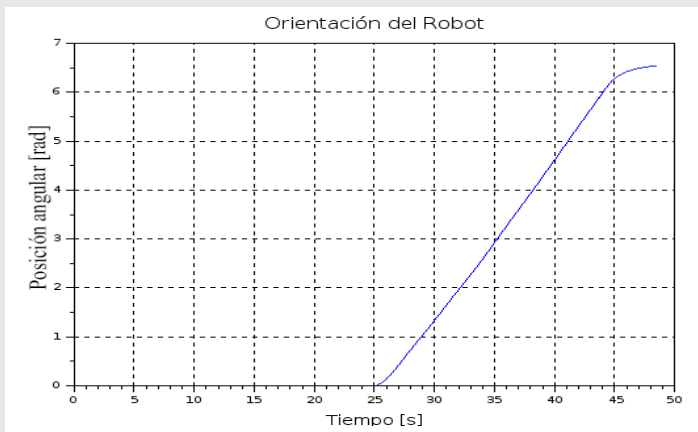


Figura 9 Prueba 2) posición angular del robot

En la Figura 10 se presenta el mapa del lugar donde se realizan las pruebas aquí mencionadas, este mapeo se realiza con el uso de la paquetería Hector SLAM escrita en ROS, que en conjunto con otras paqueterías se puede realizar navegación autónoma o semiautónoma.

Para el desarrollo del mapa se puso el robot en funcionamiento con la tele operación de tal manera que el operario lo llevará por toda la habitación para que el láser y Héctor SLAM realizarán el mapa conforme se avanzaba por todo el espacio.

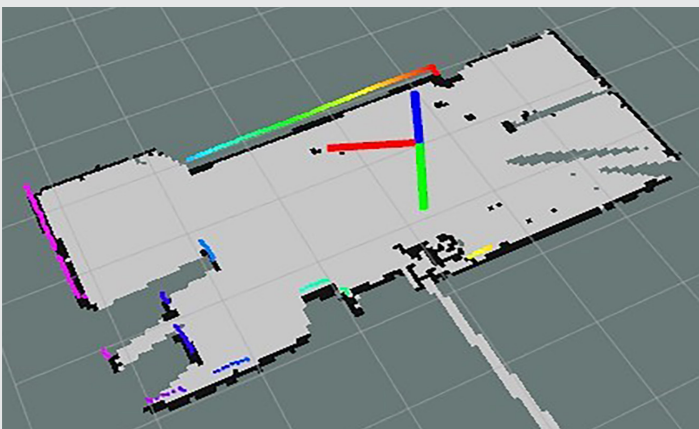


Figura 10 Mapa del espacio de trabajo del robot

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el diseño e implementación de un robot móvil diferencial tele operado, basado en la arquitectura de ROS, esta configuración es muy popular sin embargo la arquitectura del robot es abierta, es decir las dimensiones y códigos de programación se pueden ajustar de acuerdo su utilización.

Uno de los principales desarrollos para este robot fue el sistema del control a bajo nivel y la tele operación en ROS, el cual consistió en un control PID, el contro-

lador fue sintonizado para reducir el error en estado estacionario de la velocidad angular de cada una de las ruedas y la implementación de protocolos de comunicación en SSH, USB y serial.

Se pudo demostrar la implementación del sistema de navegación semi-autónoma y control usando sistemas embebidos de bajo costo como Arduino y Raspberry Pi.

En las tres pruebas que se realizaron para validar la funcionalidad de robot resultaron exitosas y pueden usarse como base para realizar tareas con mayor complejidad como por ejemplo navegación autónoma con evasión de obstáculos.

Se plantea como trabajo a futuro la implementación de un sistema de navegación completamente autónomo sobre la misma plataforma para el uso en asistencia en tareas de oficina.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Hernández-Paredes J. M., Serna-Hernández L. F., Quintanar-García S., 2017, *Control de Movimiento y Seguimiento de Trayectorias de Un Robot Móvil Diferencial a través de la Estimación Odométrica*, - REIA, VOL3, ISSN 2448- 6817.

[2] Katsuhiko Ogata, 2010, *Ingeniería de control moderna*, Pearson Educación, S.A., Madrid, 577-595.

[3] Anibal Ollero Baturone, 2005, *Robótica - Manipuladores y Robots Móviles*, Ed. Marcombo, ISBN: 9788426713131.

[4] M.A. Zamora, L.M. Tomas-Balibrea, H. Martínez, A. G. Skarmeta, 2000, *Navegación Planificada de un Robot Móvil en Entornos Interiores Desconocidos*, Universidad de Murcia.

[5] Ulrich Weiss and Peter Biber, 2011, *Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor*, *Robotics and Autonomous Systems* 265-273.

[6] Joydeep Biswas and Manuela Veloso, 2010, *WiFi Localization and Navigation for Autonomous Indoor Mobile Robots*, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Alaska, USA.

[7] André Araújo, David Portugal, Micael S. Couceiro and Rui P. Rocha, 2013, *Integrating Arduino-based Educational Mobile Robots in ROS*, *13th International Conference on Autonomous Robot Systems*, Lisbon, Portugal

[8] Javier Gonzales Jiménez y Anibal Ollero Baturone, 2015, *Estimación de la Posición de un Robot*

Móvil, Universidad de Málaga y Universidad de Sevilla.

[9] Ken Goldberg and Roland Siegwart, 2002, *Beyond Webcams: An introduction to online robots*. Mit press, Massachusetts, ISBN: 9780262072250.

[10] Emanuel Slawiński, José Francisco Postigo y Vicente A. Mut, 2006, *Experiencias en teleoperación bilateral de robots*, Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol: 3, no: 1, ISSN: 1697-7912.

[11] Nelson David Muñoz C., Néstor Alfonso Delgado Hernández y José Alejandro Díaz C., 2006, *Diseño de un escenario en línea para robots teleoperados desde Internet*, Revista Scientia et Technica, No. 32, pp. 85-90, ISSN 0122-1701.

[12] P. G. Backes; K. S. Tso; J. S. Norris; G. K. Tharp; J. T. Slostad; R. G. Bonitz; K. S. Ali, 2000, *Internet-based operations for the Mars Polar Lander misión*, IEEE International Conference on Robotics and Automation. Proceedings. ICRA, pp: 2025-2032.

[13] Eduardo Morales, L. Enrique Sucar, 2014, *Introducción a la Robótica Móvil*, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

[14] ROS. 2008. *The Robot Operating System*. 2018, de ROS Sitio web: <http://www.ros.org/about-ros/>.

[15] Sarope Kalpajian and Steven R. Schmid, 2002, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Pearson Educación, ISBN: 9789702601371.

[16] Dassault Systemes, 2016, *Introducción a SolidWorks, Manual SolidWorks*.

[17] Arduino Inc., 2018, *Arduino Due, Technical Specifications*, acceso online, <https://store.arduino.cc/usa/arduino-due>.

[18] STMicroelectronics, 2008, *Automotive fully integrated H-bridge motor driver, Data Sheet*, acceso online: <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Shields/10832.pdf>, revisión 8.

[19] Hokuyo Automatic CO. LTD., 2009, *Scanning Laser Range Finder URG-04LX-UG01, Data Sheet*, acceso online, <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/hokuyo-urg-04lx-ug01-specifications.pdf>.

[20] Raspberry Pi 3 Org., 2018, *Raspberry Pi 3 Model B Technical Specifications*, acceso online: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.

[21] Bishoy, 2014, *Kinect model assembled*, acceso: <https://grabcad.com/library/kinect-1>.

[22] Daniel Pizarro, Manuel Mazo, Enrique Santiso, Marta Marron, David Jimenez, Santiago Cobreces and Cristina Losada, 2010, *Localization of Mobile Robots Using Odometry and an External Vision Sensor*, Sensors 2010, 10, 3655 - 3680; doi:10.3390/s100403655.

[23] Aguilera Hernández Martha I., Bautista Miguel A. y Iruegas Joaquín, 2007, *Diseño y Control de Robots Móviles*, Mecamex.

[24] Cardenal Gardok, Hostalia, acceso online 2018, *Qué es el protocolo SSH y cómo configurarlo para mejorar la seguridad de acceso a los servidores Linux*, Hostaliawhitepapers.





# Ingeniantes

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla