

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla UPAEP

UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

Centro Interdisciplinario de Posgrados e Investigación
Escuela de Ingeniería
Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

USO DE LA ROBÓTICA COMO ESTRATEGIA TECNOLÓGICA EN LA
CONSERVACIÓN DE LAGUNAS EN MÉXICO

Tesis que para obtener el Grado de
Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Presenta

M.C. JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ AMECA

Director

DR. ALBERTO URIEL RIVERA ORTEGA

Puebla, México.

AGOSTO. 2017



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedicada a mis padres José Luis Hernández Rivera y Minerva Carlota Ameca Avendaño, por el amor que me han tenido en todo momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento, a mis padres, mi hermana, mis sobrinos y a todas las personas que con su presencia me han influido para concluir este trabajo.

RESUMEN

En esta tesis se presenta la problemática y una propuesta de solución basada en la generación de tecnología para el manejo de desechos sólidos en las lagunas, en especial las de tipo artificial que se encuentran en contacto directo con las civilizaciones humanas. En base a una serie de preguntas se le da orientación a la propuesta de solución que se ha desarrollado. El objetivo es diseñar y construir un robot de bajo costo funcional para el saneamiento y conservación de cuerpos de agua artificiales; para lograrlo se ha pasado por objetivos específicos como el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento. Los problemas que se generan debido a la contaminación de cuerpos de agua, son diversos, por lo que este trabajo se ha limitado a la recolección de los desechos sólidos de manera autónoma y no se abarcan parámetros que midan la limpieza o calidad del agua. Como evidencia de las etapas de desarrollo de esta investigación, se presentan un par de artículos científicos publicados en la revista: *International Journal of Engineering and Management Research* y en la *IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference*, respectivamente. Por último se presentan las conclusiones y aportaciones que se han logrado con la presente tesis, donde se destaca la generación de tecnología como una ventaja estratégica para las industrias mexicanas emergentes que se encuentran compitiendo en los diversos rubros tecnológicos.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se origina mediante la observación de los cuerpos de agua en zonas urbanizadas, que han sido contaminados por desechos sólidos, lo cual ha generado daños globales al medio ambiente, flora, fauna, clima, y el desarrollo social. Dada la importancia de este problema, en el presente trabajo de Doctorado, se propone una estrategia de limpieza basada en la robótica, para el saneamiento de lagunas artificiales ubicadas en zonas urbanizadas y turísticas, mediante el diseño e implementación de una herramienta tecnológica autónoma.

Se ha diseñado e implementado el robot JARV-1, conformado por una serie de subsistemas de bajo costo, se realizaron pruebas de funcionamiento donde el robot demostró su capacidad para recolectar desechos sólidos automáticamente, los lugares de prueba fueron lagunas artificiales, estanques y albercas. Los subsistemas que lo conforman son: sensado no invasivo de líquidos, potencia electrónica, un mecanismo de recolección y cómputo para toma de decisiones.

Como resultado de este trabajo se reporta que el JARV-1 funciona como una herramienta autónoma, que puede evitar riesgos de trabajo a los involucrados en este tipo de tareas, su funcionamiento es el mismo en zonas oscuras o iluminadas y aún existen varias áreas de oportunidad para continuar con el desarrollo del mismo.

Se concluye que utilizar este robot como una estrategia tecnológica en la conservación de lagunas artificiales en México, es viable ya que su funcionamiento ha sido probado y el costo de producción y mantenimiento es menor que el de sus posibles competidores.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. PROPÓSITO Y ORGANIZACIÓN

1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Preguntas de investigación	11
1.3 Objetivo general	12
1.4 Objetivos específicos	12
1.5 Justificación de la Investigación	13
1.6 Alcances y Limitaciones	14
1.7 Organización del estudio	15

CAPÍTULO 2. DETECCIÓN DEL NIVEL DE LÍQUIDOS, COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA NAVEGACIÓN ÓPTIMA DE UN ROBOT ACUÁTICO

2.1 Detección de nivel de líquidos de bajo costo, como herramienta de apoyo a las empresas maquiladoras de robots autónomos	16
2.2 Medición dinámica del nivel líquido en tiempo real a través de un arreglo lineal de sensores ópticos controlados por una máquina de estados.	17
2.2.1 Detección no invasiva de líquido	17
2.2.2 Principio de operación del sistema de detección	18
2.2.3 Mediciones realizadas	22
2.2.4 Descripción y control del autómata	23
2.2.5 Resultados experimentales	24
2.2. 6 Conclusión	27

CAPÍTULO 3. DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL ROBOT PARA LA CONSERVACIÓN DE LAGUNAS ARTIFICIALES

3.1 Reciclaje de materiales como ventaja competitiva en la construcción de robots de servicio	28
3.2 Uso de la robótica como herramienta para el saneamiento y conservación de lagunas	30
3.2.1 Contaminación de cuerpos de agua en desarrollos urbanos	30
3.2.2 Concentración de los desechos sólidos en lagunas artificiales	32
3.2.3 Diseño del robot JARV-1	34
3.2.4 Pruebas de funcionamiento del robot JARV-1	41
3.2.5 Conclusión de la pruebas de funcionamiento y futuras mejoras	42

CAPÍTULO 4. DESEMPEÑO Y GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA COMO ESTRATEGIA PARA EL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS EN LAGUNAS ARTIFICIALES

4.1 Conclusión general	44
4.2 Trabajo futuro	47

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO 1. PROPÓSITO Y ORGANIZACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En el planeta tierra se encuentran diferentes cuerpos de agua (lagos, lagunas, ríos y mares) que pueden clasificarse en: superficiales, subterráneas y marinas. Estos cuerpos son indispensables para el desarrollo de la vida iniciando desde los microorganismos, pasando por la flora, la fauna y finalizando en las actividades humanas de producción e intercambio de bienes y servicios.

El Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), se encarga de documentar los volúmenes concesionados a los usuarios de aguas en México; que se clasifican en 12 rubros, mismos que a su vez se conjuntan en cinco grandes grupos: usos consuntivos (formado por cuatro rubros), agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y la generación de energía eléctrica excluyendo el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no consuntivo [1].

Actualmente una gran cantidad de cuerpos de agua padece los efectos de la contaminación hídrica sufriendo alteraciones físicas, químicas y biológicas. Provocando variaciones en su color, olor, sabor, temperatura, espumas, materiales suspendidos, radioactividad y conductividad. Dicha contaminación transforma las aguas en sustancias peligrosas y dañinas para el desarrollo de la vida y el consumo humano [2].

Los efectos de la contaminación preocupan, a gobiernos y asociaciones de todo el mundo; en consecuencia se están elaborando e implementando, políticas públicas y metodologías que ayuden a contrarrestar y controlar los efectos de la contaminación hídrica.

En México el plan nacional hídrico 2014-2018 dice: La adecuada disponibilidad y calidad del agua es uno de los pilares del desarrollo nacional, una condición necesaria para mantener el bienestar y salud de nuestra población y uno de los elementos indispensables para un medio ambiente sano. Por esta razón, una de las tareas principales, es replantear el manejo hídrico del país y modernizar las instituciones e infraestructura del sector, con el fin de lograr la seguridad y la sustentabilidad hídrica de México [3].

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de nuestro país clasifica los contaminantes en [1]:

Microorganismos patógenos.- Se refiere a bacterias, virus, protozoos y organismos microscópicos, transmisores de enfermedades como cólera, tífus y hepatitis.

Desechos orgánicos.- Comprende los residuos producidos por los seres humanos, animales, etc. Se incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. El exceso de estos desechos provoca la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno en el agua, causando la muerte de los seres vivos que ahí habitan.

Sustancias químicas inorgánicas.- Se hace referencia a los ácidos, sales y metales tóxicos (mercurio y plomo)

Compuestos inorgánicos.- El petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, y detergentes

Desechos sólidos.- Son aquellos desperdicios que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque no se van a utilizar. Estos desechos incluyen diversos materiales combustibles como plástico, papel, textiles, madera, etc. y no combustibles como metal, vidrio y otros.

Entendiéndose por desecho a cualquier tipo de material que esté generado por la actividad humana y que está destinado a ser desechado [4].

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) clasifica los desechos según su fermentabilidad en desechos orgánicos e inorgánicos; según su inflamabilidad en combustibles y no combustibles; según su procedencia en domésticos y según su volumen en convencionales y especiales.

De acuerdo a las estadísticas del Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua (SINA) 2016, en México se identifican tres principales fuentes de contaminación [5]:

1.- La industria: Durante los procesos de transformación de recursos naturales en bienes y servicios se requieren diversas cantidades de agua, durante los cuales algunos contaminantes

químicos, metales y gases atmosféricos como el dióxido de carbono CO₂, terminan filtrándose a ríos, arroyos, lagos, lagunas y mares.

2.- La sociedad: Las personas generan residuos sólidos todos los días, provocando infecciones, y enfermedades. De acuerdo a estadísticas proporcionadas por el Instituto Nacional de Ecología, en México cada año se producen nueve mil millones de botellas de plástico, noventa millones de botellas de refresco y agua purificada. Estos desechos tardan una cantidad diferente de años en degradarse, por ejemplo: las botellas de plástico 1000, bolsas de plástico 150, vidrio 4000 y latas de refresco 10 años.

3.- La naturaleza: Se encarga de producir fenómenos como la intemperización de minerales provenientes de las rocas y volcanes, incendios forestales, lluvia ácida, descomposición de la materia orgánica del suelo, etc.

Los parámetros de control más utilizados para normar, conservar, monitorear, proteger, manejar y restaurar las aguas con sus ecosistemas son:

a) Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5) que indica la cantidad de materia orgánica biodegradable.

b) Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad total de materia orgánica. Ambos son indicativos de la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua, proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales tanto de origen municipal como no municipal. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

c) Los Sólidos Suspendedos Totales (SST) tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo, el incremento de estos niveles hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta el agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

La presente tesis se enfoca en el saneamiento y conservación de lagunas superficiales naturales o artificiales como, estanques decorativos y albercas turísticas.

Se propone diseñar, desarrollar y construir un robot que funcione como una herramienta tecnológica al servicio de la humanidad; con la capacidad de recolectar desechos sólidos, hojas, ramas, pedazos de troncos y algas, que flotan en la superficie acuática de las lagunas. Se considera que las funciones principales del robot serán: desplazamiento autónomo, recolección y depósito de basura.

El robot evitará riesgos y esfuerzos a los trabajadores que en ocasiones exponen su vida en la realización de dichas tareas ya que al estar en contacto directo con aguas contaminadas son susceptibles a contagios, cortaduras y ahogamientos. Con esta herramienta, se visualiza la disminución de costos de operación, ya que el robot evitará el uso de embarcaciones y herramientas de limpieza no especializadas con un alto valor económico. La autonomía permitirá que el robot realice su trabajo de manera periódica ya sea de día o de noche, lo que puede representar una ventaja hacia el sector turístico y permitirá realizar un plan de mantenimiento adecuado a cada situación.

El diseño del robot se basó en las condiciones ideales de flotabilidad, censado, movimiento, desplazamiento y capacidad de carga. Se buscó una inversión mínima para la construcción del robot, basándose en los criterios de reciclaje y reutilización de materiales. Se caracterizó el rendimiento y límites del robot en escenarios reales. Finalmente se realizaron ajustes y propuestas para seguir trabajando en el perfeccionamiento de este proyecto.

1.2 Preguntas de investigación

Para el desarrollo y guía esta tesis doctoral, se han planteado cuatro preguntas que se muestran a continuación.

La primera pregunta ayudo al enfoque de la idea de diseñar e implementar la herramienta tecnológica, que sin la intervención del hombre es capaz de ayudar en la realización de tareas no gratas, como la recolección de desechos sólidos, sobre superficies acuáticas de difícil acceso. La segunda se plantea para verificar la viabilidad del desarrollo del trabajo, la tercera ayuda a justificar la investigación y la cuarta sirve para visualizar el costo beneficio de realizar este trabajo.

1.- ¿Es posible desarrollar una máquina automática, que recolecte y transfiera desechos sólidos sobre la superficie de cuerpos de agua?

2.- ¿Cuáles son las características lógicas, mecánicas y electrónicas para realizar esta máquina?

3.- ¿Cuáles serían los beneficios de desarrollar dicha máquina?

4.- ¿Cuál será el costo de construcción y el tiempo de vida útil?

1.3 Objetivo general

Proponer una estrategia tecnológica con fines de saneamiento y conservación de lagunas superficiales en ambientes urbanos a través de la robótica

1.3 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema de bajo costo para el sensado no invasivo de líquidos.
- Diseñar, construir y probar el funcionamiento del robot recolector de desechos sólidos en lagunas y estanques artificiales.
- Mostrar las ventajas del robot contra las herramientas de saneamiento y conservación de lagunas ya existentes.

1.5 Justificación de la Investigación

Se propone brindar a la sociedad una herramienta tecnológica preventiva-correctiva, efectiva y de bajo costo, que ayude a mantener libres de basura (desechos sólidos, hojas, ramas, pedazos de troncos y algas), a cuerpos de agua, especialmente lagunas superficiales artificiales, incluyendo estanques y albercas

Este trabajo se enfoca a dicho sector ya que se encuentra en crecimiento como el caso de nuevas zonas habitacionales donde los cuerpos de agua artificiales (lagunas, estanques, albercas ecológicas y turísticas), son altamente relevantes, por motivos estéticos y comerciales. En dichas aguas se exige un mantenimiento constante, no obstante el horario, tipo de clima y condiciones de interacción con la sociedad.

Los beneficios de desarrollar este tipo de tecnología son: preservar los cuerpos de agua, mejorar la calidad de vida de la sociedad, contribuir al desarrollo tecnológico y científico del país, generar una línea de investigación que ataque los problemas de la contaminación aplicando la ciencia y la tecnología. Se abre la posibilidad de iniciar una industria de robots nacionales enfocados a solucionar problemas de contaminación en cuerpos de agua.

Con el desarrollo de este trabajo se abordaran diversos problemas que se dividirán en:

- Sensado: donde se buscarán o se diseñarán los sensores que trabajen sobre superficies sólidas y líquidas; bajo condiciones climáticas particulares como la intensidad luminosa, lluvia, frío y calor.
- Programación: el problema radica en que el robot recorra de manera autónoma la superficie discontinua de un cuerpo de agua y encontrar el punto más cercano para depositar la basura recolectada. Resolviendo este par de problemas, se tendrá una base para programar recorridos autónomos en aguas subterráneas o marinas.
- Electromecánico: se buscará la relación entre velocidad de desplazamiento, capacidad de arrastre, potencia y grados de libertad requeridos para que el robot realice sus tareas.

1.6 Alcances y Limitaciones

Alcances. En el presente estudio se diseñó e implementó un sistema de bajo costo para el sensado no invasivo de líquidos, evitándose la contaminación del agua durante dicho proceso. Este sistema de sensado fungió como subsistema base, para el desarrollo del sistema general de navegación que se implementó en el robot realizado. Se diseñaron y programaron en un sistema empotrado las funciones del robot (inicio, sensado, recolección y fin del proceso). Se construyó el robot con una baja inversión monetaria, debido a que la mayoría de sus materiales son reciclados de desechos sólidos. Se probó satisfactoriamente el desempeño del robot al recolectar desechos sólidos en lagunas y estanques artificiales. Estos resultados se obtuvieron al unir diferentes disciplinas de conocimiento como la teoría de control, programación de algoritmos, mecánica y electrónica.

Se muestran las ventajas del robot realizado contra las herramientas de saneamiento y conservación de lagunas ya existentes, por ejemplo, horas de trabajo, riesgos humanos, beneficios y costos.

Limitaciones. La capacidad de recolección está limitada directamente por las dimensiones del robot, aunando el tamaño de su red.

El robot no medirá la calidad del agua, después de finalizar su proceso de limpieza, debido a que el grado de limpieza del agua depende de indicadores físicos, químicos y biológicos. Este trabajo se limita a recolectar los desechos sólidos flotantes en la superficie del agua y no contará con un sistema de desinfección.

1.7 Organización del estudio

En el capítulo uno se plantea el problema de la contaminación de las lagunas, se expone cual es la importancia de que este tipo de cuerpos de agua se mantengan en buen estado y cuáles son las consecuencias de permitir que la contaminación siga avanzando.

Se propone el diseño e implementación de un robot como una herramienta preventiva-correctiva que ayude a contrarrestar el problema de la contaminación de lagunas o prevenirlo. En el apartado 1.2 se expone el objetivo general y objetivos específicos, en el 1.3 plantean las preguntas que guían la investigación, en el 1.4 se da la justificación sobre la importancia de realizar la presente investigación, en el 1.5 se describen los alcances de este trabajo en función del desarrollo tecnológico, en el 1.6 se describen las limitaciones o restricciones de lo que no se abarca en este trabajo.

El capítulo dos, muestra el artículo, **Medición de nivel dinámico de líquido en tiempo real utilizando un arreglo lineal de sensores ópticos controlados por un autómata**, publicado en la revista: International Journal of Engineering and Management Research [7], el cual describe la implementación y resultados obtenidos, de un arreglo lineal de sensores ópticos, capaces de medir distancias sobre superficies acuáticas, lo cual ha servido como principio básico para el sistema de orientación del robot que se ha desarrollado en esta tesis.

El tercer capítulo muestra un segundo artículo llamado, Uso de la robótica como herramienta para el saneamiento y conservación de lagunas, publicado en la: **IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference 2017** [8], donde se muestra el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento del robot. Se describen los materiales utilizados, el sistema de sensado, la máquina de estados implementada en un sistema empotrado que dota de autonomía al robot y datos sobre la cantidad de basura recolectada.

En el capítulo cuarto se escriben las conclusiones a las que se ha llegado, se responden las preguntas planteadas al principio de esta investigación, por último se dan propuestas para trabajo futuro, en función de mejorar cada uno de los subsistemas y el desempeño general del robot.

CAPÍTULO 2. DETECCIÓN DEL NIVEL DE LÍQUIDOS, COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA NAVEGACIÓN ÓPTIMA DE UN ROBOT ACUÁTICO

2.1 Detección de nivel de líquidos de bajo costo, como herramienta de apoyo a las empresas maquiladoras de robots autónomos.

El presente capítulo muestra trata sobre la publicación del artículo titulado: La Medición de nivel dinámico de líquido en tiempo real utilizando un arreglo lineal de sensores ópticos controlados por un autómata [7].

Dicha publicación se realizó en la Revista Internacional de Ingeniería y Gestión de Investigación por sus siglas en inglés (IJEMR), se realiza por la editorial *Vandana Publicaciones* Lucknow, siendo esta una organización establecida en la India desde octubre de 2011. Hoy es considerada como una de las principales organizaciones internacionales donde se publican: libros, libros electrónicos, proyectos y consultoría, destacados en sus respectivos campos. La organización se rige bajo los más altos estándares internacionales de calidad, con autores y miembros editoriales de todo el mundo. *Vandana Publicaciones* se adhiere a una filosofía de publicaciones inclusivas, que busca promover la educación y el aprendizaje a través de publicaciones que sirvan a las diversas necesidades educativas de los educadores.

La revista tiene un gran impacto, con el apoyo de la junta editorial de alto nivel en todo el mundo, de esta manera se asegura de que académicos, científicos e investigadores obtengan recompensas y reconocimiento a nivel internacional. Cuenta con una extensa red de distribución internacional, siendo así un destacado agente de suscripción de revistas en la India y distribuidor de libros y revistas sobre una amplia gama de temas.

El artículo trata sobre la detección de presencia de líquido y la cantidad almacenado en contenedor ya que es uno de los principios básicos que han servido para el control de robot desarrollado, así como se muestra la importancia que puede tomar un arreglo de sensores que realicen dicha tarea en la investigación, la industria e incluso en la vida cotidiana. Otra característica importante de este sistema de sensado es que se realiza mediante sensores ópticos no invasivos.

2.2 Medición dinámica del nivel líquido en tiempo real a través de un arreglo lineal de sensores ópticos controlados por una máquina de estados.

A continuación se reporta la medición milimétrica en tiempo real de nivel dinámico de líquido, utilizando sensores ópticos que operan en el infrarrojo controlados por un autómata. El sistema de detección y medición se basa en una configuración serie de módulos (Mx) de sensores ópticos formados por un emisor (Tx) y un receptor (Rx) controlados por una máquina de estados. El arreglo de sensores registra la intensidad de luz modulada por el reflejo de la radiación provocado por el cambio en el nivel dinámico del líquido en el contenedor. Esta modulación de intensidad de luz es registrada por el receptor óptico. Los registros de cada sensor son tratados por separado y finalmente son combinados para obtener una mayor precisión del registro del nivel de líquido. El propósito de este subsistema es medir y detectar la respuesta de manera rápida, precisa y económica con la ayuda de un autómata. El sistema propuesto es de propósito esta dirigido a la navegacion de un robot, se puede generalizar y aplicacarse a líquidos con propiedades adecuadas al infrarrojo.

2.2.1 Detección no invasiva de liquido

La detección de presencia de líquido y la cantidad de almacenamiento en un contenedor es de suma importancia, tanto en la investigación como en la industria, en este caso específico para la navegación de un robot acuático. Los transductores piezoeléctricos tradicionales no siempre satisfacen los requerimientos para la detección y medición de líquidos. Estos sistemas pueden ser invasivos o no invasivos, las técnicas utilizadas están en función de la aplicación. Resulta un problema interesante si los líquidos son agresivos con el medio utilizado para su medición y detección.

Un transductor no invasivo presenta diversas ventajas ante líquidos corrosivos, explosivos o inflamables, ya que no permite el contacto directo entre el líquido y el sensor. Esto genera un aislamiento eléctrico y facilita el trabajo en situaciones peligrosas.

Respecto a los transductores invasivos, la elección del sensor está en función del tipo de líquido de interés. Algunos de los problemas que se presentan con esta técnica son generados por la corrosión que degrada al sensor y modifica su tiempo de vida útil [9].

Un amplio rango de sistemas de medición de nivel de líquido se han reportado [10]. Algunos son comercializados parcialmente, estos utilizan diferentes técnicas y métodos. Entre el rango de sensores reportados, están aquellos que utilizan fibra óptica y aquellos que utilizan ondas mecánicas [11].

En este trabajo se presenta una solución para la detección y medición en tiempo real del nivel dinámico de líquido de forma no invasiva utilizando un arreglo lineal de sensores ópticos que operan en el infrarrojo, controlados mediante la implementación en un autómata. Esta combinación de sensores ópticos y autómatas proporciona un sistema de registro dinámico, económico y de fácil implementación.

2.2.2 Principio de operación del sistema de detección

El principio básico del sensor es la detección de la variación de la intensidad de radiación infrarroja asociada con la reflectancia registrada por el fotodetector en función de la longitud del camino óptico entre el emisor y el detector. El sistema de registro consiste de cinco módulos (Mx). Cada módulo está formado por un emisor LED (Tx) en el infrarrojo y un receptor (Rx).

La distribución de intensidad óptica del LED básicamente es de perfil lambertiano aproximado. La intensidad en cualquier dirección a θ con respecto a la normal se expresa como [12]:

$$I_{\theta} = I_0 * \cos^m \theta$$

donde, I_{θ} es la intensidad en dirección del ángulo θ medido en grados, I_0 es la intensidad en 0 grados, m es el coeficiente de Lambert.

El flujo luminoso Φ se aproxima como:

$$\Phi = \int I_{\theta} d\theta$$

La radiancia se aproxima como:

$$L = d\Phi/\pi dA$$

Por otra parte, la radiación (LED) incidente es reflejada hacia el fotodetector con un ángulo $\theta_i = \theta_r$ y teniendo en cuenta que el promedio temporal del vector de Poynting es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico y aplicando la definición general de reflectancia dada por:

$$R(\alpha_i) = \frac{\langle S_r^z \rangle}{\langle S_i^z \rangle}$$

donde $S_{r,i}^z$ es la componente z del vector de Poynting para la energía reflejada y transmitida respectivamente.

La relación para la reflectancia para un acimut (α_i) arbitrario está dada por [12].

$$R(\alpha_i) = R_{\square} \cos^2 \alpha_i + R_{\perp} \sin^2 \alpha_i$$

La intensidad de radiación reflejada por el nivel de líquido es colectada por el fotodetector y depende de la separación que existe entre ambos.

Para calcular la irradiancia en la superficie del fotodetector, se considera el diámetro del emisor de 5 mm y la separación aproximada del transmisor (Tx) y el receptor (Rx) es de $2d$ como se muestra en la figura 3 (d está en mm.). El ángulo sólido $d\omega$ subtendido en la fuente por un elemento de área se aproxima según:

$$d\omega = \frac{dA}{r^2}$$

donde r es la separación entre la fuente y el receptor, la cual se aproxima a $2d$. Con esto se tiene:

$$d\omega = \frac{19.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{(2d)^2}$$

Al considerar valores pequeños de ω , el flujo recibido en la superficie del fotodiodo está dado por:

$$\Phi = I d\omega$$

El valor aproximado para el flujo y en función de la separación del emisor y receptor en función del nivel de líquido se calcula con:

$$d\Phi = \left(20 \text{ mw/sr} \right) d\omega = \left(20 \text{ mw/sr} \right) \frac{19.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{(2d)^2}$$

Finalmente, la irradiancia en la superficie del fotodetector es función del nivel de líquido y está dada por:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

La figura 1 muestra la simulación (línea continua) del comportamiento de la irradiancia en el fotodetector. La discontinua muestra la señal de salida del módulo 1 (M1).

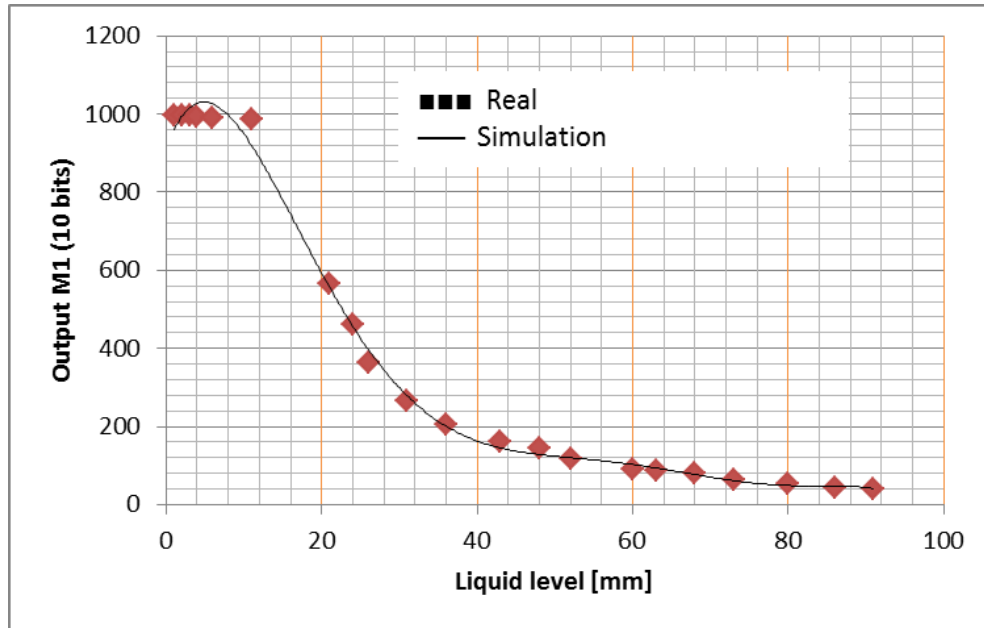


Fig. 1. Grafica de nivel de líquido contra la salida del M1 de 10 bits

La irradiancia definida como el flujo por unidad de área es una función del cambio dinámico de nivel de líquido. Este es el principio básico de operación del sistema propuesto; la sensibilidad del sistema, depende de la intensidad de emisión del emisor.

2.2.3 Mediciones realizadas

El esquema de la figura 2 muestra el arreglo experimental, este consiste de dos contenedores comunicantes los cuales almacenan líquido. El contenedor de menor diámetro (d_1) de 284 mm., está conectado directamente mediante un tubo al contenedor de diámetro (d_2) de 584 mm. El contenedor de mayor diámetro tiene una entrada y salida de líquido con lo que se controla la cantidad de líquido almacenado en el sistema.

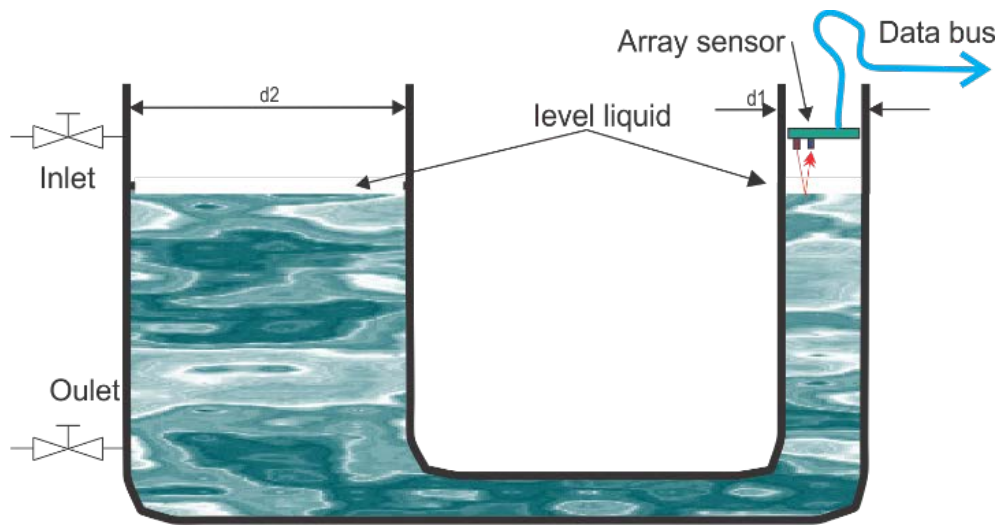


Fig. 2. Arreglo experimental para detección milimétrica de nivel de líquido en tiempo real.

El arreglo de sensores se coloca en el contenedor de diámetro d_1 . El líquido presenta propiedades adecuadas para la reflexión en infrarrojo [13, 14].

El arreglo de sensores consiste de cinco módulos (Mx) en configuración lineal. Cada módulo está compuesto por un emisor (Tx) de $\lambda=950$ nm (peak wavelength) de 5 mm de diámetro y un receptor (Rx) de diámetro 5mm., la separación entre ellos es de 2 mm.

La figura 3 muestra la configuración del arreglo experimental del módulo emisor-sensor (Mx) y la interacción no invasiva para registrar el nivel dinámico de líquido.

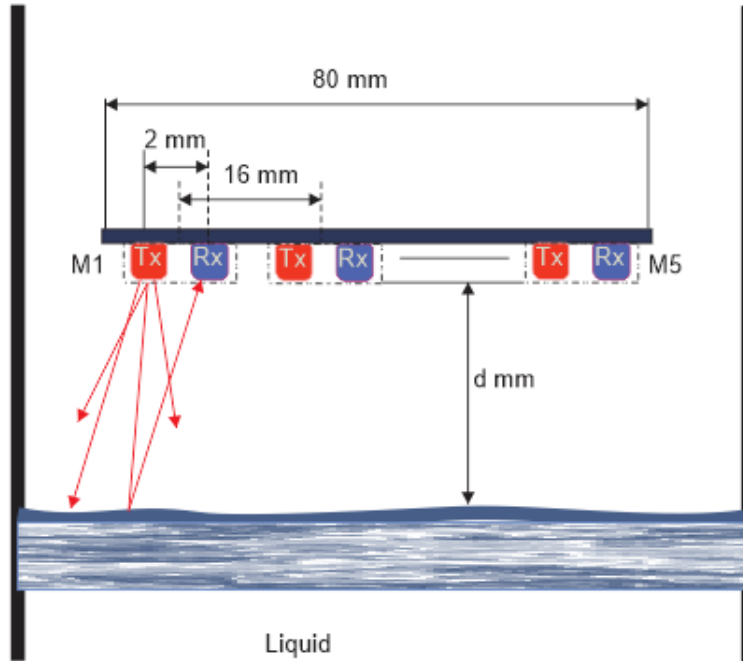


Fig.3. Esquema del arreglo de sensores ópticos para la medición dinámica de líquido

Este arreglo de sensores registra los cambios dinámicos de nivel de líquido en tiempo real en un rango de 0 a 90 mm.

Todo el arreglo consiste de cinco módulos (M1...M5), cada módulo consta de un emisor (Tx) y un receptor (Rx) separados (L_s) por 2 mm. La longitud del arreglo (L_a) es de 80 mm y la separación entre módulos (L_m) es de 16 mm.

2.2.4 Descripción y control del autómata

El arreglo lineal de sensores es colocado sobre la superficie del líquido y la medición es no invasiva (figura 3). La señal de voltaje de salida de los fotodetectores es analógica y están en un rango de 0.034 a 4.8 voltios, es función de la separación del arreglo de sensores y el nivel de líquido.

El conjunto emisor-detector optoelectrónico, se conecta y controla mediante un bus al sistema de adquisición de datos (DAQ) que convierte la señal analógica a su equivalente

digital. Esta señal es tratada para que el sistema presente la medición del nivel de líquido en tiempo real [15, 16].

El autómata activa los emisores y registra la señal en los receptores en la secuencia del bloque 1 y 5, la siguiente medición son de los bloques 2 y 4. Finalmente obtiene la medición del bloque 3. La señal analógica registrada, se procesa y finalmente se reporta los cambios dinámicos del nivel de líquido en tiempo real.

La secuencia de control para los módulos mediante el autómata se muestra en el diagrama de estados en la figura 4.

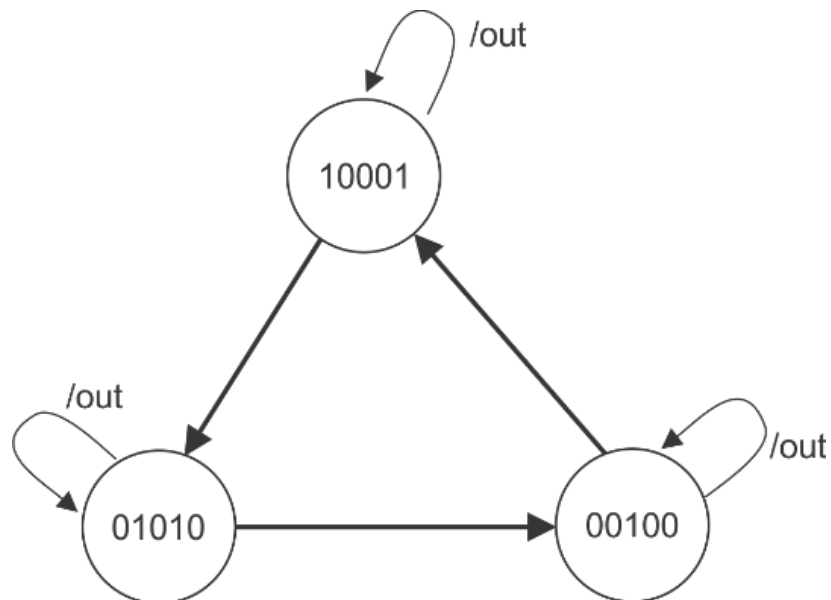


Fig. 4. Secuencia de la máquina de estados

2.2.5 Resultados experimentales

El nivel de líquido es máximo al registrar una salida de voltaje promedio de los fotodetectores de 4.8 voltios. Se considera un nivel de líquido mínimo al registrar 0.05 voltios por los sensores.

La figura 5 muestra la curva de calibración del sensor de nivel dinámico de líquido en tiempo real.

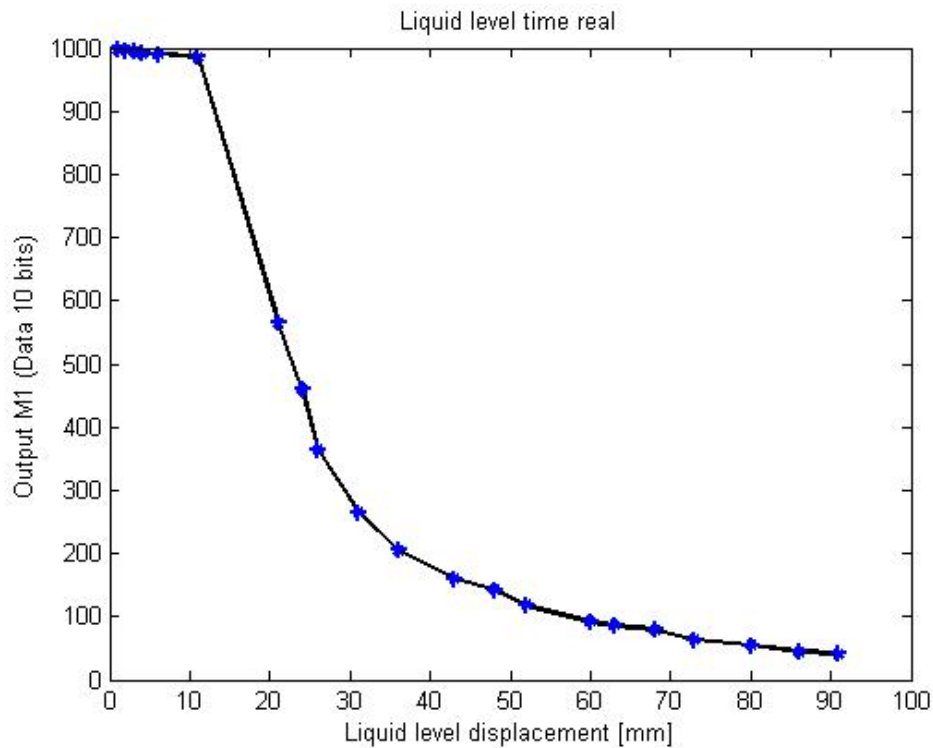


Fig. 5. Nivel máximo y mínimo de líquido en relación al voltaje de salida del M1.

El nivel dinámico de líquido es controlado mediante las válvulas de entrada y salida del contenedor de mayor capacidad.

Los cambios del voltaje de salida de los fotodetectores son registrados y tratados por el DAQ. La respuesta dinámica del cambio en el nivel de líquido y el voltaje registrado se gráfica y muestra en la computadora personal mediante gráficas de nivel y voltaje registrado [18, 19].

El monitoreo continuo en los cambio del nivel de líquido son monitoreados en tiempos de 300 ms en cada sensor [20].

La tabla 1 muestra las mediciones obtenida en un periodo de 1100 ms.

Tabla 1. Valores medidos por los sensores M

Nivel de líquido (mm)	M1	M2	M3	M4	M5
1	998	999	996	998	1000
2	997	996	997	998	996
3	995	993	994	995	994
4	992	993	991	992	992
6	990	991	989	991	990
11	986	987	985	986	987
21	565	563	565	564	565
24	460	459	460	461	460
26	364	365	364	366	364
31	265	267	264	266	265
36	205	206	208	203	205
43	160	162	159	160	158
48	143	143	142	143	143
52	118	120	119	118	117
60	92	90	92	92	91
63	86	86	85	84	86
68	79	80	77	79	80
73	63	63	62	64	61
80	55	55	53	54	55
86	44	46	44	41	45
91	41	41	39	43	40

El número de muestras tomadas para la medición del nivel de líquido se modifican en función de los parámetros del DAQ y la respuesta de los fotodetectores. La figura 6 muestra los datos registrados por los modulos M2, M3, M4 y M5 del sistema desarrollado.

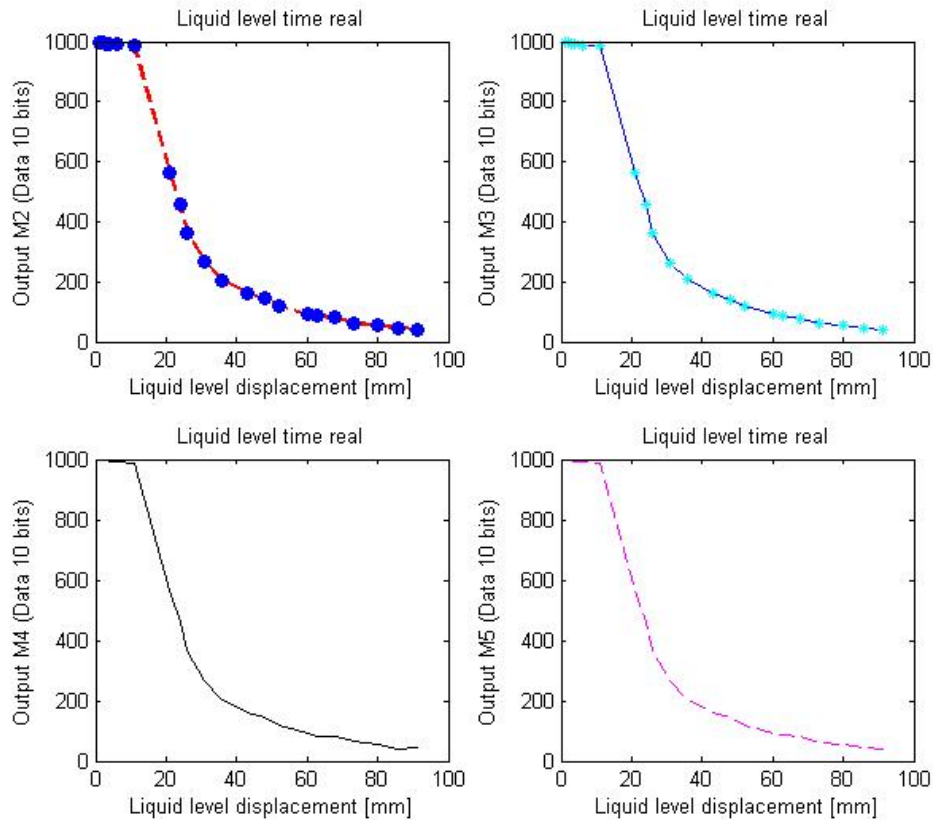


Fig. 6. Registro de nivel de líquido de los módulos M2, M3, M4 y M5.

2.2. 6 Conclusión

Se desarrolló un novedoso sensor de nivel de líquido dinámico en tiempo real y no invasivo; que incorpora sensores ópticos que operan con $\lambda=950$ nm . La implementación de un autómata para el control de las mediciones y presentación de resultados proporciona al sistema una rápida respuesta y confiabilidad en la medición. Este trabajo combina un sensor que utiliza emisores en el infrarrojo, con buena sensibilidad y la implementación de un autómata para la presentación de resultados.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL ROBOT PARA LA CONSERVACIÓN DE LAGUNAS ARTIFICIALES

3.1 Reciclaje de materiales como ventaja competitiva en la construcción de robots de servicio

Este capítulo muestra la publicación del artículo: **Uso de la robótica como herramienta para el saneamiento y conservación de lagunas** [8]. Dicha publicación se realizó en la IEEE Conferencia de Tecnología Humanitaria Mexicana 2017 (por sus siglas en inglés MHTC).

La IEEE por sus siglas en inglés es El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, se trata de una asociación internacional dedicada al avance en la innovación de tecnología para el beneficio de la sociedad. Las raíces del IEEE se remontan al año 1884, cuando la electricidad comenzó a convertirse en una gran influencia en el mundo. En la primavera de ese año, un grupo pequeño de profesionales en el campo de la electricidad formaron una organización en Nueva York para apoyar a profesionales principiantes en sus esfuerzos para aplicar la innovación tecnológica para la mejora de la humanidad. Actualmente el IEEE está conformado por 421,355 miembros de profesionales técnicos y estudiantes de todo el mundo y busca tener una relación directa con la sociedad mundial y local, buscando siempre su bienestar a través de proyectos enfocados a la educación, investigación y continua actualización de sus miembros. En la página oficial de la IEEE se brinda información acerca de sus comunidades, sociedades y actividades globales.

La Conferencia de Tecnología Humanitaria Mexicana es de tipo interdisciplinaria, se dedica a presentar, discutir y desarrollar soluciones tecnológicas a los desafíos sociales. MHTC atrae a los presentadores y asistentes que trabajan para satisfacer las necesidades de las poblaciones afectadas por la pobreza, los desastres, el cambio ambiental y otros impactos que resultan en que sus necesidades no están satisfechas o no son atendidas. El presente trabajo se presentó el pasado marzo del 2017 en el Complejo Cultural Universitario.

Con el fin de crear y promover soluciones humanitarias holísticas y sostenibles; la conferencia se centra en soluciones tecnológicas complementadas con una comprensión integrada de contextos más amplios como la economía, las políticas, la cultura y el medio ambiente. MHTC da la bienvenida a la participación de individuos y organizaciones de formación técnica y no técnica, incluyendo ingenieros, científicos, académicos, pequeñas empresas, corporaciones, filántropos, fundaciones y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.

Este artículo trata sobre el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento del robot para el saneamiento y conservación de cuerpos de agua artificiales, se describen los materiales utilizados, el sistema de sensado, la máquina de estados implementada en un sistema empotrado que dota de autonomía al robot y se muestran los resultados obtenidos.

3.2 Uso de la robótica como herramienta para el saneamiento y conservación de lagunas

A continuación se presenta la primera versión del robot autónomo “JARV-1” diseñado para colaborar en el saneamiento y conservación de lagunas. El robot se desliza tomando como referencia la orilla de estos depósitos de agua, utiliza una red para la recolección de desechos sólidos. En este trabajo se muestra el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento de la herramienta robótica.

3.2.1 Contaminación de cuerpos en desarrollos urbanos

Desde el comienzo de la humanidad los ríos, lagos y lagunas han estado ligados íntimamente al desarrollo de las civilizaciones humanas brindando un equilibrio ecológico y climático, fungiendo como fuentes de vida y en ocasiones como medios de transporte. En el mundo muchas de estas aguas han sufrido una degradación casi paralela al crecimiento de las poblaciones, lamentablemente se han utilizado como basureros de desechos sólidos debido a una cultura nula de prevención y cuidado como se puede ver en la figura 7.



Fig.7. Laguna de Nichupté Cancún México

En la figura 8 se pueden observar los principales desechos sólidos generados diariamente por la sociedad como plásticos, provenientes de comestibles, productos de limpieza, electrodomésticos, contenedores y bolsas. El unicel principalmente utilizado en platos desechables, molduras y todo tipo de adornos y por último el vidrio con el que se fabrican todo tipo de envases, refractarios, trastes etc.



Fig.8. Fotografía de laguna contaminada por desechos solidos

Se han identificado tres principales factores causantes de la contaminación, en primer lugar la sociedad, en segundo las industrias y por ultimo las políticas ecológicas de los gobiernos. Este trabajo se enfoca en el saneamiento y conservación de pequeñas lagunas artificiales “creadas por el hombre” y naturales “como los formados por volcanes, ríos o afloramientos freáticos” donde el principal agente de contaminación es la sociedad. Se ha desarrollado una herramienta tecnológica con el objetivo de recolectar los contaminantes que flotan en la superficie acuática como desechos sólidos, hojas, ramas, pedazos de troncos y algas que en exceso producen perturbaciones en el ecosistema acuático, mal olor y son antiestéticos.

Cabe mencionar que algunas de las funciones que realizan las lagunas en buen estado dentro de los ecosistemas son: mantener el equilibrio ambiental, permitir el desarrollo de flora y fauna, evitan inundaciones, en algunos lugares se utilizan sus aguas para la agricultura y promueven el turismo. Es importante mencionar que las consecuencias de la contaminación de dichos cuerpos de agua son mortales para la flora principalmente hidrófila, fauna y organismos marinos, lo que conlleva a la destrucción de ecosistemas, deforestación, destrucción del suelo y cambios climáticos.

Para realizar esta limpieza se propone el robot JARV-1 que puede recolectar autónomamente la basura evitando riesgos y esfuerzos al ser humano durante dicha actividad. Como ventaja se reducen los costos de mantenimiento a mediano y largo plazo, se optimiza el tiempo de trabajo y el uso de recursos materiales. Este problema se ha abordado desde la perspectiva de la ciencia y el desarrollo tecnológico al servicio de la humanidad y sus futuras generaciones.

3.2.2 Concentración de los desechos sólidos en lagunas artificiales

En este trabajo se realizó un robot capaz de moverse sin la intervención del hombre con la misión de recolectar la basura flotante sobre las aguas de las lagunas. Con este robot se evita que el ser humano arriesgue su vida al realizar dicha actividad, debido a la contaminación, visibilidad o difícil acceso. La idea surge gracias a la cercana ubicación del Laboratorio de Sistemas Robóticos “SIRO” a la laguna artificial que se encuentra dentro de Ciudad Universitaria, perteneciente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Es ahí donde la observación provocó la inquietud de generar un proyecto que sirve como herramienta tecnología para la recolecta de basura. En la figura 9, se muestra una foto de dicha laguna donde la mayoría de la basura se acumula en su litoral.



Fig.9. Laguna de Ciudad Universitaria BUAP

Con la identificación de que la mayoría de la basura se concentra en las orillas de las lagunas debido al poco movimiento de sus aguas, el robot se ha diseñado para recorrer la orilla de la laguna manteniendo una distancia constante de 50 cm, como se muestra en la figura 10.

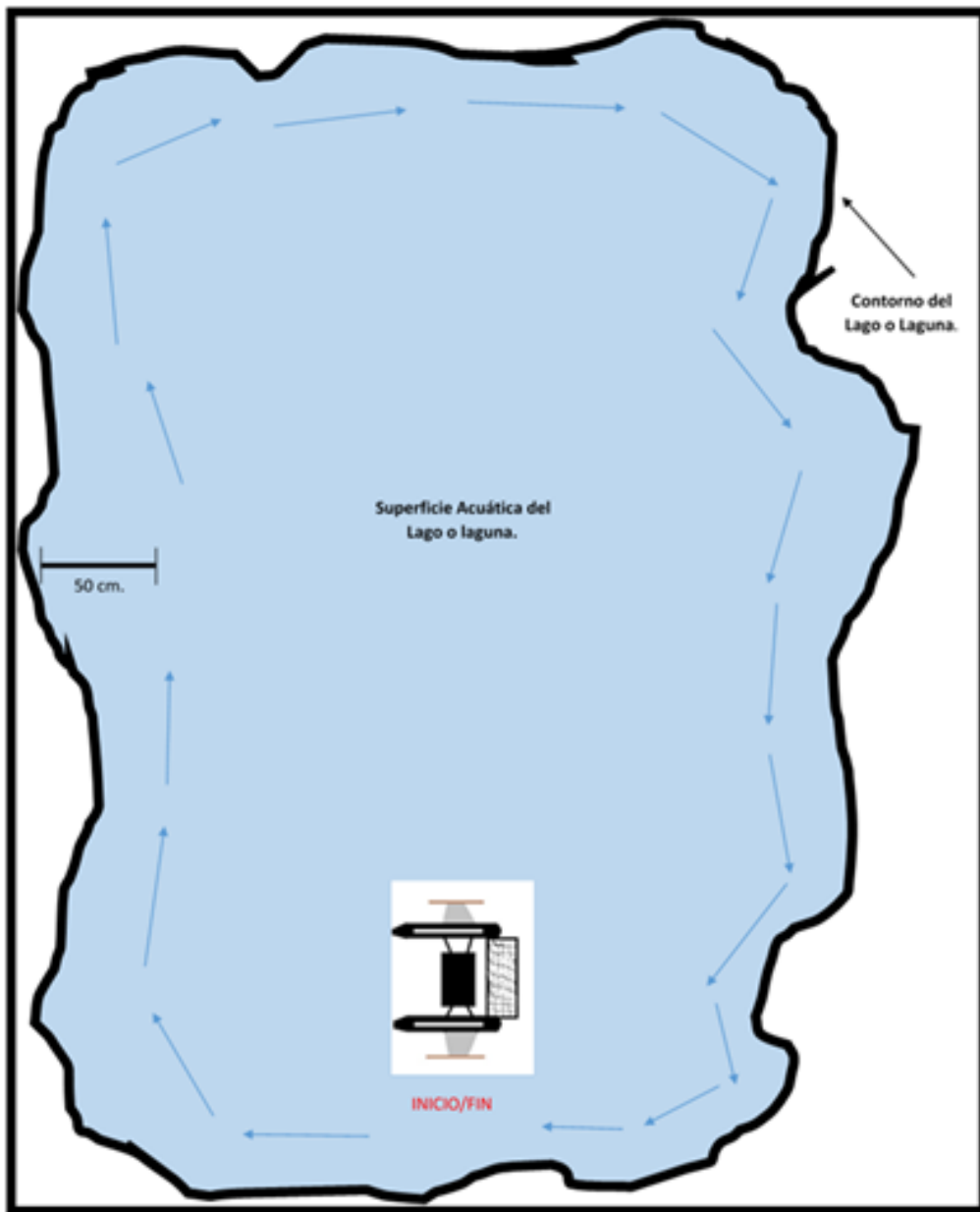


Fig.10. Trayectoria a seguir del robot JARV-1

3.2.3 Diseño del robot JARV-1

El robot utiliza un arreglo de sensores ultrasónicos en el rango de los 40 KHz de frecuencia, para ubicarse a una distancia de 50cm de la orilla del lago o laguna, los sensores utilizados

se muestran en la figura 11. Los cuales no presentan interferencias de detección por la radiación solar



Fig.11. Sensores ultrasónicos utilizados en el robot

Una vez que el sistema verificó que la distancia es la deseada, se activan dos servomotores con un torque de 20kg c/u alimentados por una batería tipo litio y polímero de 12v, que permiten desplazar al robot durante su recorrido, como en la figura 12.



Fig.12. Servomotores para desplazamiento del robot

Al desplazarse el robot recolecta en una red colocada en su parte trasera la basura que encuentra a su paso hasta que detecta una fuerza de arrastre menor o igual a 5kg, lo cual es

la condición para que regrese al punto donde inicio su recorrido. En la figura 13, se muestra una fotografía y las vistas de la estructura del prototipo el cual cuenta con las siguientes dimensiones: 90 cm de ancho, 40cm de largo y 35cm de altura.

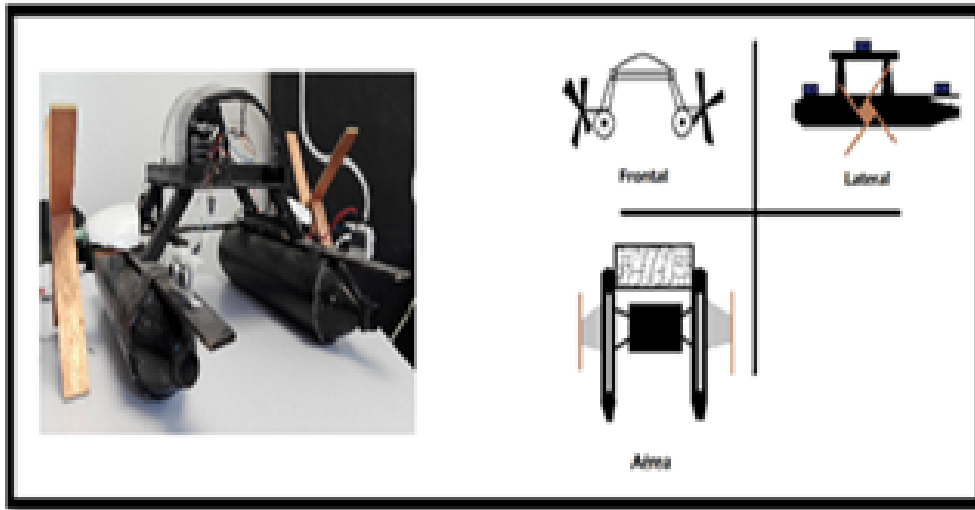


Fig.13. Vistas del robot JARV-1 en perspectiva isométrica

El robot se construyó uniendo un subsistema mecánico, electrónico e informático. La estructura y chasis se realizó con materiales reciclados de computadoras personales como teclado, tapas metálicas y flotadores de botellas de plástico como se ve en la figura 14.



Fig.14. Material para chasis y flotadores del robot JARV-1

El desplazamiento sobre el agua se realiza mediante un par de hélices acopladas a los ejes de los motoreductores. La comunicación de las señales se hizo mediante alambre del No. 22, como fuente de alimentación se utilizó una batería Sla Power Sonic de 12v y 18Ah. Y una etapa de potencia en circuito impreso capaz de soportar hasta 2A y 20v, como se muestra en la figura 15.



Fig.15. Batería y manejador de voltaje y corriente

El sistema inteligente de control se implementó en un microcontrolador PIC16F877A que se muestra en la figura 16.



Fig.16. Microcontrolador PIC16F877A

Dentro de este microcontrolador se realizó el control del robot mediante una máquina de estados lógicos la cual se muestra en la figura 17, tomándose los estados de: inicio, recorrido, recolección, reubicación y fin.

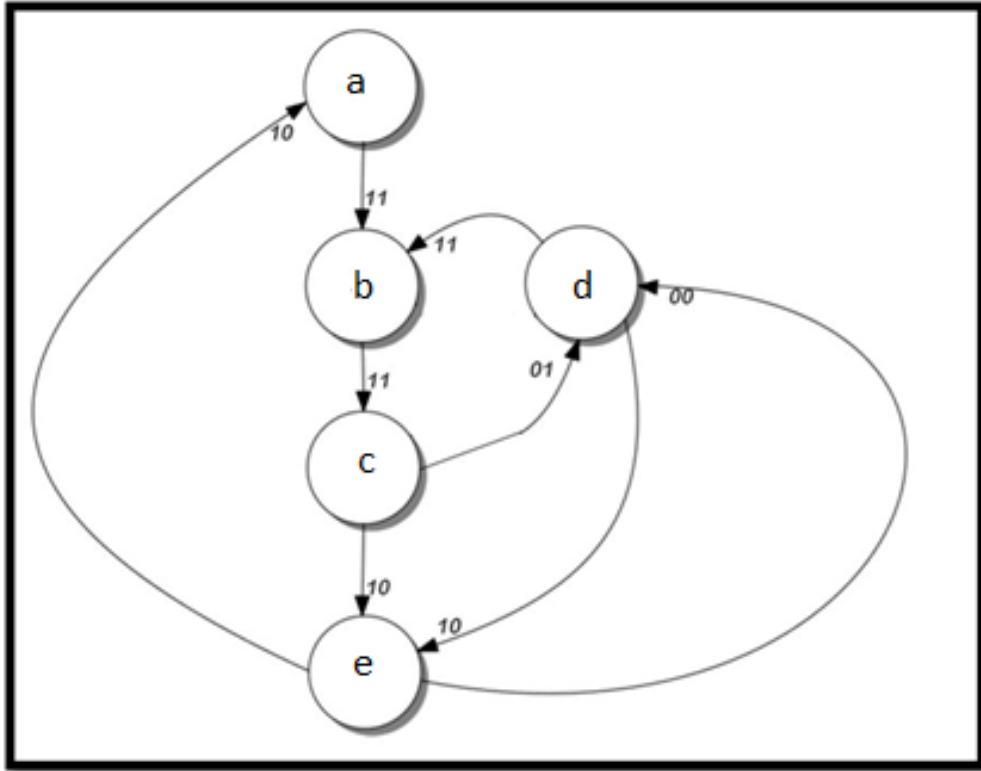


Fig.17. Máquina de estados del robot JARV-1

En la tabla 2 se muestran las entradas X y Y a la máquina de estados.

Tabla 2. Estados de la maquina

Estado Actual	Entrada		Estado Siguiete
	x	y	
a	1	1	b
b	1	1	c
c	0	1	d
d	1	1	b
b	1	1	c
c	1	0	e
e	0	0	d
d	1	0	e
e	1	0	a

- a. Punto de inicio
- b. Recorrer laguna
- c. Recolectar basura
- d. Reubicar
- e. Terminar

X = sensor \geq 50 cm

Y = basura \geq 5 kg

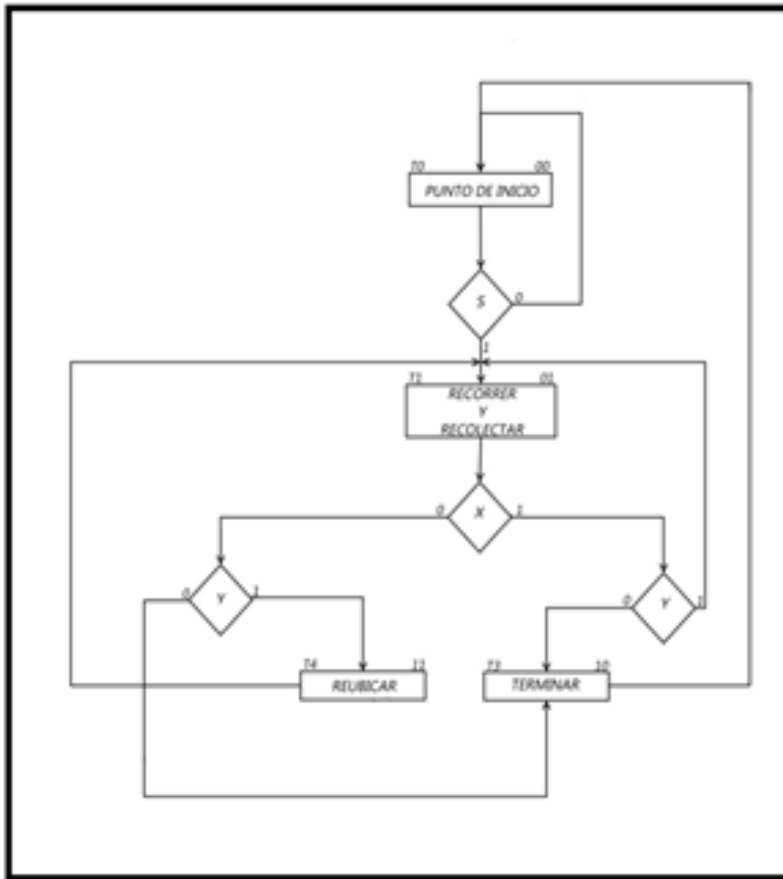


Fig.18. Diagrama de Flujo del Robot JARV-1

El robot parte desde un punto de inicio, tal como se muestra en el la figura 18, donde una condición “S” definida como START indica si el robot inicia su funcionamiento y si no lo hace regresa a un punto inicial. Una vez que el robot ha iniciado su recorrido este entra en un proceso definido como “recorrer y recolectar” el cual solo va a cambiar mediante una serie de condicionales aplicadas a las variables X y Y explicadas en la tabla 1. La primera condicional a tomar en cuenta es sobre la variable X donde se indica la ubicación del robot, si el robot se encuentra ubicado a una distancia menor o igual de 50cm del contorno del lago procede a la evaluación de una siguiente condicional, ahora sobre la variable Y, donde si el robot cuenta con una cantidad de basura menor o igual a 5Kg sigue su recorrido, en caso contrario, haciendo que la cantidad de basura llegue a un total de 5Kg el robot procede a terminar su proceso y regresar al punto inicial. Si el peso total de basura recolectada por el robot no sobrepasa el máximo de 5kg y se encuentra ubicado a la distancia especificada, este sigue en su proceso de recolecta. En dado caso que el robot no se encuentre ubicado pero ya cuenta con una cantidad menor o igual a 5kg de basura este avanza a un proceso o estado de reubicación. Como caso final, si este no se encuentra ubicado y ya cuenta con la capacidad máxima de basura recolectada el JARV-1 procede a terminar su proceso de trabajo y así regresar a su punto inicial.

3.2.4 Pruebas de funcionamiento del robot JARV-1

El robot se construyó dentro del laboratorio SIRO, adaptando materiales al diseño planteado, como botellas de plástico y placas de circuitos impresos. Se probó que la estructura flotará con un peso de 5kg, después se adaptaron los motores con la batería para verificar la potencia y velocidad de desplazamiento, se adaptaron los sensores y la tarjeta de control para tener el ensamblado completo.

Por último se cambió la etapa de control realizada en un protoboard por un circuito impreso en el cual se soldaron los componentes con la finalidad de evitar falsos contactos.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en la laguna de Ciudad Universitaria como se ve en la figura 19



Fig. 19. Pruebas de funcionamiento en laguna de Ciudad Universitaria

3.2.5 Conclusión de las pruebas de funcionamiento y futuras mejoras

En el estado inicial con la red de recolección vacía, el robot recorrió 200 metros en 3.3 minutos, lo que denota que su velocidad máxima de desplazamiento es de 3mt/seg. Cuando la red ha llegado a su capacidad máxima de 5kg de desechos sólidos, la velocidad disminuye al mínimo de 1mt/seg. Por lo que se concluye que la velocidad de desplazamiento disminuye en proporción directa al incremento de desechos sólidos capturados en la red.

Una de las condiciones a cumplir por el sistema de control es mantener al robot siempre a una distancia constante de 50cm con respecto al litoral de la laguna, se observó que el sistema presento un retraso de 5seg cuando los sensores se encontraron frente a superficies con discontinuidades mayores a un centímetro de longitud.

La lógica de programación del sistema puede implementarse en diferentes tecnologías de hardware y software, así como adaptarse a nuevos requerimientos, restricciones y variables de control.

Con este trabajo se muestra la utilidad de la robótica como una herramienta que evita que el hombre participe directamente en tareas pesadas, monótonas y peligrosas como la limpieza y recolección de basura en lagunas naturales y artificiales. Los beneficios de utilizar este robot en dichas tareas son: evitar contagio de enfermedades, cortes en la piel y riesgos de muerte por ahogamiento.

Las herramientas tradicionales y que actualmente se utilizan para limpieza de desechos sólidos en aguas son: pala, rastrillo de jardinero, redes de polímeros o hilos, palas mecánicas de retroexcavadoras y grúas; las últimas tienen un costo de renta/trabajo entre \$300 y \$3000 pesos mexicanos por hora. El precio de compra para una de estas máquinas se encuentra entre los \$40, 000 a los \$2, 000,000 de pesos.

En comparación con lo antes mencionado el costo de construcción del robot JARV-1 es muy bajo ya que oscila entre los \$4,000 y \$6,000 pesos mexicanos, debido a que gran parte de la estructura se implementó mediante materiales reciclados como PET y basura proveniente de diferentes equipos electrónicos.

La experiencia ha sido enriquecedora para profesores y alumnos donde se desarrollaron habilidades de creatividad, investigación, comunicación y trabajo en equipo. De esta manera concluimos que es posible generar herramientas útiles para el bienestar de la humanidad.

Como trabajo a futuro, se propone que el robot pueda comunicarse con otros robots para realizar trabajo colaborativo, implementarle algoritmos de inteligencia artificial, mejorar las funciones de los sensores utilizando un sonar, optimizar el consumo de voltaje mediante celdas solares y diversificar sus aplicaciones de limpieza a lagos, presas, mares y ríos, buscando la vinculación entre universidad, gobierno y empresa.

Agradecimientos. A profesores y alumnos que trabajaron en este proyecto, a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, a la Facultad de Ciencias de la Computación y a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN SOBRE EL DESEMPEÑO Y GENERACION DE LA TECNOLOGIA COMO ESTRATEGIA PARA EL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS EN LAGUNAS ARTIFICIALES

4.1 Conclusión general

En el presente trabajo se mostró el diseño, desarrollo, construcción y puesta en marcha de un robot como estrategia tecnológica que demostró ser útil en el saneamiento y conservación de lagunas naturales y artificiales.

En el capítulo uno se planteó el problema de la contaminación de las lagunas, sus consecuencias y como es que actualmente se está atacando el problema desde el enfoque político, social y tecnológico. Se plantearon los objetivos, las preguntas de investigación, la justificación, alcances y limitaciones.

En el capítulo dos se muestra mediante el artículo [7], el inicio del desarrollo del sistema de control del robot. Se trata sobre el arreglo lineal de sensores ópticos que permiten al robot medir de forma no invasiva y en tiempo real, la presencia y el nivel dinámico de líquido dentro de un recipiente cerrado, mediante la programación de un autómata.

Como resultado se muestra una tabla de valores detectados dinámicamente, ante fluctuaciones en los niveles de líquido con respecto al tiempo. Se presentan los datos obtenidos gracias a la automatización del sensado mediante una máquina de estados. Por último se destaca la importancia que puede tomar un arreglo de sensores que realicen dicha tarea en diferentes campos como, investigación, industria e incluso en la vida cotidiana.

En el capítulo tres mediante el artículo [8], se hace referencia al diseño estructural del robot basado en la información obtenida de: el Reglamento para la prevención de la

contaminación generada por residuos sólidos no peligrosos, Atlas del agua en México 2016 y el Programa nacional hídrico 2013-2018.

Se abarcan las pruebas de funcionamiento realizadas en: la Laguna de Valsequillo, la laguna artificial de Ciudad Universitaria (BUAP), Laguna del Parque Ecológico Revolución Mexicana y albercas de uso recreativo. El sistema de navegación del robot se basó en un arreglo lineal de sensores de ultrasonido, ya que su funcionamiento no es alterado por la radiación solar, efecto que si altera el funcionamiento de los sensores ópticos.

Dicho arreglo de sensores guía al robot durante su trayecto. Las instrucciones de desplazamiento se programaron y ejecutaron en una máquina de estados. Los movimientos autónomos son directamente proporcionales a los valores obtenidos por los sensores, de tal manera que el robot se guía por la existencia de la ribera de la laguna, en el caso de que esta no exista o el robot salga del rango de detección, el sistema es capaz de reorientar la trayectoria o pasar al modo manual. La velocidad máxima de desplazamiento sin carga es de 3m/s y la mínima es de 1m/s. Esta disminución de la velocidad es proporcional al aumento de la carga del robot. Debido al consumo de batería el robot recorrió durante hora y media el 30% de la ribera de laguna de Ciudad Universitaria. El móvil recolectó los desechos sólidos flotantes encontrados durante su trayectoria utilizando la red que se encuentra en su parte posterior, logrando una capacidad de almacenamiento máxima aproximada de 5kg. Se determinó que después de los 5kg el torque de los motores ya no es suficiente para desplazarse. Se comprobó que el robot transporta su carga hasta un punto de paro determinado por restricciones definidas en su programación como el tiempo de funcionamiento o la duración de la batería.

El costo de construcción aproximado del robot es de \$6,000.00 M.N, un precio competitivo contra sus posibles rivales como, Trascabos con costos oscilantes entre los \$40,000.00 M.N a los \$2, 000,000.00 M.N o embarcaciones tipo Catamarán con un precio alrededor del millón de pesos. El bajo costo de construcción del robot se debe a, una estructura hecha de materiales reciclados como plásticos y desechos electrónicos. El tiempo de vida útil es de uno a cinco años, en función del buen uso de la batería.

El robot ha demostrado ser útil en el proceso de recolección de basura en aguas contaminadas. Con esta herramienta el ser humano evita posibles riesgos de trabajo como, contagios de enfermedades por contacto directo con este tipo de aguas, cortes en la piel a causa de latas, alambre o vidrios y evita riesgos de morir ahogado. Cabe mencionar que el robot puede trabajar a cualquier hora del día, con altas y bajas temperaturas, bajo condiciones climáticas adversas como lluvia o un fuerte sol y no tiene alteración de funcionamiento en aguas fétidas. El robot tiene la ventaja de poder replicarse de una manera relativamente fácil debido a que la mayoría de sus materiales de construcción los podemos encontrar y manipular fácilmente en los ambientes urbanizados.

4. 2 Trabajo futuro

En base a los resultados obtenidos, se visualiza como trabajo futuro: desarrollar el modelo cinemático que permita caracterizar adecuadamente el robot, mejorar la sensibilidad del sensado, incrementando el número y tipo de sensores. Se visualiza mejorar el sistema de navegación mediante la implementación de un giroscopio que permita una mejor orientación del robot, además de que se utilizarán técnicas de óptica aplicada para sensado y detección de objetos. Se utilizarán técnicas de inteligencia artificial para diseñar el algoritmo óptimo que proporcione al robot el camino más corto a un punto deseado, esto es útil una vez que su capacidad máxima de recolección haya sido alcanzada. Se diseñara un protocolo de comunicación entre robots que permita un trabajo colaborativo durante la limpieza de cuerpos de agua más grandes. Se trabajara sobre un sistema que permita mantener al robot energizado durante el máximo tiempo posible, con el uso de fotoceldas, se harán mejoras en el diseño estructural y la manera de evitar o fraccionar objetos que impidan el desplazamiento del robot ya que se pretende que el robot trabaje en lagunas y lagos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Gobierno de la República Mexicana: Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Vol.6, pp 8-13, (2016).
- [2] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Gobierno de la República Mexicana: Estadísticas del agua en México Vol.6, pp 74-82, (2015).
- [3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Gobierno de la República Mexicana: Programa Nacional Hídrico 2014-2018 Vol.5, pp 33, 77-80, (2014).
- [4] H. Ayuntamiento del Municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero. México: Reglamento para la prevención de la contaminación generada por residuos sólidos no peligrosos. Vol. 1, pp 705-709, (2015)
- [5] Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua (SINA); Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Gobierno de la República Mexicana: Estadísticas del Agua en México 2016, pp 73-81, (2016).
- [6] Boylestad R., Nashelsky, L., “*Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*”, Pearson Educación, México, (2009).
- [7] Trinidad García G; López Marín N; Ítalo Cortez J; Cortez L; Ríos Acevedo C. A; García Juárez P; Hernández Ameca J. L: Real-Time Dynamic Level Meter Non-Invasive with Optical Sensor. *International Journal of Engineering and Management Research*, Vol.5, NO. 6, pp 518-521, (2015).
- [8] Hernández Ameca José Luis; Rivera Ortega Alberto Uriel; Ovando Chico María Catalina; Beatriz Pico González: Uso de la robótica como herramienta para el saneamiento y conservación de lagunas. IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (2017).

- [9] Guirong Lu; Hao Hu; Baoxiang He; Shuyue Chen, "A new-type sensor for monitoring oil-water interface level and oil level," in *Electronic Measurement & Instruments*, 2009. ICEMI '09. 9th International Conference on , vol., no., pp.2-981-2-983, 16-19 Aug. 2009.
- [10] SC Dai, HT Chen, "Optical Desing and Thermal Analysis of High-power Light-emitting Diode Array Modules", *SIMULATION*, vol.88, No. 12 (2012), pp.1475-1483.
- [11] Katsuharu Iwamoto and Isao Kamata, "Liquid- level sensor with optical fibers", *Applied Optics*, Vol. 31, No. 1, pp. 51 -54, 1992.
- [12] J. U. Duncombe, "Infrared navigation Part I: An assessment of feasibility (Periodical style)," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-11, pp. 3439, Jan. 1959. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.4316/ieee.1959.3422>.
- [13] Jose Manuel Cabrera, Fernando Jesús López, Fernando Agulló López, "Óptica electromagnética", Addison-Wesley, ISBN 0-201-60132-X.
- [14] L. Lavagno, G. Martin, B. Selic (eds.). *UML for Real: Design of Embedded Real-Time Systems*. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [15] R. Damasevicius, V. Stuikeys, "High-Level Models for Transformation-Oriented Design of Hardware and Embedded Systems," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol.8, no.2, pp.86-94, 2008, doi:10.4316/AECE.2008.02016.
- [16] M. Keating, P. Bricaud. *Reuse Methodology Manual for System-on-a-Chip Designs*. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [17] A. Sangiovanni-Vincentelli, G. Martin, "Platform-based design and software design methodology for embedded systems", *IEEE Design and Test of Computers*, 18(6), 2001, pp. 23-33.
- [18] Kevin Sze Chiang Kuang, Ser Tong Quek, Mohamed Maalej, "Remote flood monitoring system based on plastic optical fibres and wireless motes", *Sensors and Actuators A*, pp. 449– 455 , 2008.

- [19] Chen Hong, "The Application of Fault Detection Technology in the Coal Mine Water Level Sensor," in Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), 2014 Fifth International Conference on , vol., no., pp.999-1003, 15-16 June 2014.
- [20] Zhao Jun; Chen Xiangguang; Liu Chuntao, "The Self-Diagnose Algorithm for Liquid Level Sensor on WSN Node," in Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2012 Second International Conference on , vol., no., pp.1335-1338, 6-7 Jan. 2012.
- [21] Tanenbaum Andrew S., "Computer Networks" 3ra edition, Pretince-Hall PTR, 1996.
- [22] Roberts M. J., "Señales y Sistemas", McGraw-Hill, 2005.
- [23] Palacios Enrique, Fernando Remiro, Lucas J. López, "Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos", Alfaomega, México, 2006.
- [24] Vesga Ferreira Juan Carlos, "Microcontroladores Motorola – Freescale", Alfaomega, México, 2008.
- [25] Mead Carver, "Analog VLSI and Neural Systems", Adison-Wesley Publishing Company, Canada, 1989.
- [26] Boylestad Robert I. Y Nashelsky, Louis, "Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos", Pearson Educación, México, 2009.
- [27] Trinidad García G; López Marín N; Ítalo Cortez J; Cortez L; Ríos Acevedo C. A; García Juárez P; Hernández Ameca J. L: Real-Time Dynamic Level Meter Non-Invasive with Optical Sensor. International Journal of Engineering and Management Research, Vol.5, NO. 6, pp 518-521 (2015).