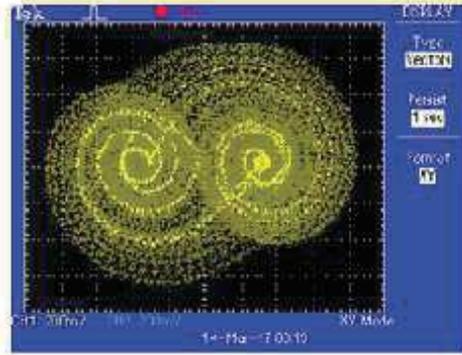
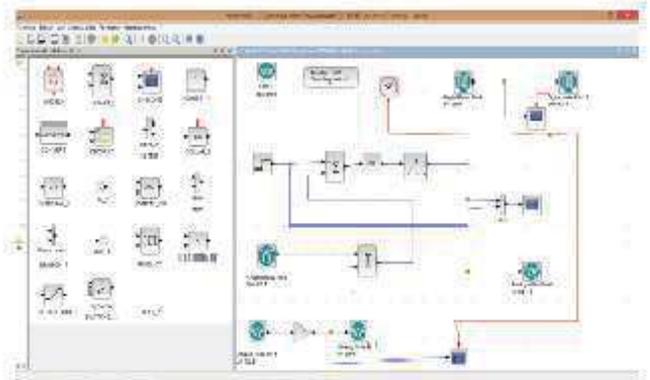


# Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria

## Una muestra del talento mexicano

José Emilio Vargas Soto  
Ángel Adrián Ortiz González  
Juan Francisco Ávila García



ASOCIACION MEXICANA DE  
MECATRONICA A.C.

**Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria  
Una muestra del talento mexicano**

**José Emilio Vargas Soto  
Ángel Adrián Ortiz González  
Juan Francisco Ávila García**

# Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria

## Una muestra del talento mexicano

Editado por  
José Emilio Vargas Soto  
Ángel Adrián Ortiz González  
Juan Francisco Ávila García

Publicado por:  
Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.

En colaboración con:  
GrupoLOC

© Los editores

*Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria. Una muestra del talento mexicano* es un libro digital autorizado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor bajo el número de radicación 315269 a la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C., Fonología 116, Colonia Tecnológico C.P. 76158 Querétaro, Qro. México. Tel. (01-442) 224-0257, [www.mecamex.net](http://www.mecamex.net), las opiniones y la información que se muestran en los capítulos del libro son exclusivas de los autores y no representan la postura de la Asociación Mexicana Mecatrónica A.C. Fecha de la última modificación 06 de mayo 2017. Esta obra es una publicación de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C., la cual permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones por cualquier medio, siempre y cuando los trabajos estén apropiadamente citados, respetando la autoría de las personas que realizaron los capítulos.

Impreso y hecho en México  
Primera edición, 06 de mayo 2017  
ISBN 978-607-9394-09-7

## Índice

<b>Capítulo 1</b> <b>Diseño, Fabricación y Puesta en Marcha de un Brazo Robótico Móvil de 5 Grados de Libertad.</b> Rodríguez Uribe María Abigail, Govea Valladares Eder Hazael Limon Leyva Pablo Alberto, García Zugasti Pedro de Jesús y García Liñan Gerardo. División de Estudios de Posgrado e Investigación Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.	<b>1</b>
<b>Capítulo 2</b> <b>Diseño de Trayectoria Aleatoria Mediante FPAAs para Robot Uniciclo.</b> Ontañón-García L.J., Silva-Campos J.M. y Lozoya-Ponce R.E. Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP, Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C., campus San Luis Potosí, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus San Luis Potosí.	<b>13</b>
<b>Capítulo 3</b> <b>Seguimiento de Trayectorias Utilizando el Robot Lego Mindstorm EV3 y Matlab.</b> González Del Río, J.D., Martínez López, M. y Ontañón-García, L.J. Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP.	<b>20</b>
<b>Capítulo 4</b> <b>Determinación de la Eficiencia Inhibidora de la Corrosión del Extracto Acuoso de Hojas de Guanábana (<i>Annona Muricata</i>) en Sensores de Cobre.</b> J.C. Chávez-Barrera, F. Corvo, J.R. Brito y V. Moo Centro de Investigación en Corrosión-Universidad Autónoma de Campeche. Facultad de Ciencias Químico Biológicas-Universidad Autónoma de Campeche.	<b>26</b>
<b>Capítulo 5</b> <b>Análisis del Impacto Ambiental y Socioeconómico por la Contaminación de Cobalto-60 Generado por la Empresa Ex Aceros de Chihuahua S.A. de C.V.</b> Bustillos Camacho Leina Elizabeth, Leyva Chávez Arwell Nathán, Valles Aragón María Cecilia, García Muñoz Silvia Amanda y González Aldana Ricardo Aarón. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.	<b>31</b>
<b>Capítulo 6</b> <b>Problema de Inundaciones en la Zona Centro de la Ciudad de Chihuahua.</b> Pérez Villanueva Jorge Alberto, Leyva Chávez Arwell Nathán, Valles Aragón María Cecilia, García Muñoz Silvia Amanda y López Díaz Julio César. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas .	<b>43</b>

## Índice

<b>Capítulo 7</b> <b>Sistema Mecatrónico Controlado con Arduino-Scilab.</b> García Liñán Gerardo, Govea Valladares Eder Hazael, Limon Leyva Pablo Alberto, García Zugasti Pedro de Jesús, y Vázquez Hernández Enrique Alejandro. División de Estudios de Posgrado e Investigación Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.	<b>57</b>
<b>Capítulo 8</b> <b>Dispensador Automático de Alimento Seco para Mascotas Caninas</b> Martínez Rodríguez Alberto; Cano Lara Miroslava; Chagolla Sandoval Felipe de Jesús y Santos Calderón Juan Carlos. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.	<b>69</b>
<b>Capítulo 9</b> <b>Rediseño de las Estaciones de Trabajo en una Empresa del giro Médico Utilizando Herramientas de la Manufactura Esbelta</b> Soto Valenzuela Francisco Javier, Bórquez Medina Cecilia Ivette, Murataya Berrelleza Juan Jesús, Ramírez Cárdenas Ernesto y Caraveo García Yadira Daniela. Instituto Tecnológico de Sonora Campus Guaymas.	<b>75</b>
<b>Capítulo 10</b> <b>Control PID No-lineal para la Inmersión de un Mini AUV</b> Monroy Anieva Jesús Arturo, Campos Mercado Eduardo y Torres Muñoz Jorge Antonio. Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Universidad del Istmo, Tehuantepec, Oaxaca. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N, Ciudad de México.	<b>89</b>
<b>Capítulo 11</b> <b>Importancia y Apropiación de los Espacios Públicos en la Zona Sur de la Ciudad de Colima.</b> Zepeda Nava Jorge Alejandro. Instituto Tecnológico de Colima, Posgrado en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana.	<b>101</b>

# Cap.1 Diseño, Fabricación y Puesta en Marcha de un Brazo Robótico Móvil de 5 Grados de Libertad

Rodríguez Uribe María Abigail, Govea Valladares Eder Hazael, Limon Leyva Pablo Alberto, García Zugasti Pedro de Jesús, García Liñan Gerardo

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Instituto Tecnológico de San Luis Potosí  
Av. Tecnológico S/N, Col. UPA., C.P. 78437  
Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., México.

## Resumen

*Las herramientas robóticas son cada vez más frecuentes en empresas, con un alto grado de automatización, que utilizan celdas de manufactura en sus procesos de fabricación. El uso de tales dispositivos les permite obtener altos grados de eficiencia en la producción, mantener estándares elevados de calidad y la capacidad de realizar, con rapidez, las modificaciones que requiere el proceso productivo, para adecuarse a nuevas necesidades del mercado. Con el presente trabajo, se pretende crear un Brazo Robótico Móvil como una plataforma para futuras investigaciones, enfocadas en las áreas de control, automatización y mecatrónica. Resulta conveniente aclarar que la importancia de este trabajo representa un aporte al desarrollo de dispositivos robóticos al realizar el diseño, fabricación, desarrollo de tarjetas electrónicas, sensores y programación con tecnología Arduino. La interfaz del usuario permite la manipulación del robot vía Bluetooth, manual o mediante un programa previamente cargado*

**Palabras clave:** Brazo robótico, robot móvil, control de robot, fabricación de elementos robóticos

## 1. Introducción

En la actualidad gracias a los diversos avances tecnológicos, la automatización de sistemas es una actividad cotidiana en muchas áreas de la ingeniería. Uno de los ejemplos más sobresalientes del proceso de automatización llevado a los límites del conocimiento humano es la robótica, en donde, un sistema mecánico es dotado de la capacidad de realizar procesos de manera automática teniendo además una cierta capacidad de decisión [1]. Un brazo robótico es un tipo de brazo mecánico, normalmente programable, con funciones parecidas a las de un brazo humano; este puede ser la suma total del mecanismo o puede ser parte de un robot más complejo [2][3].

Sin embargo, muchos de los nuevos retos de la robótica se centran en la robótica móvil, ya que a diferencia de los brazos robóticos fijos donde su entorno es controlado, un robot móvil, se debe adaptar a un nuevo entorno en cada cambio de posición que realiza, haciendo necesario un nivel más elevado de "inteligencia" que le permita la toma de decisiones de tal forma que pueda desempeñarse en un ambiente cambiante [4].

Es cada vez más frecuente encontrar empresas que utilizan celdas de manufactura en sus procesos de fabricación, normalmente con automatización por robots móviles y/o brazos robóticos. El uso de tales dispositivos les permite obtener altos grados de eficiencia en la producción, mantener estándares elevados de calidad y la capacidad de realizar, con rapidez, las modificaciones que requiere el proceso productivo, para adecuarse a nuevas necesidades del mercado [5].

La utilidad de los brazos robóticos móviles no está en duda, sin embargo no es común que se pueda adquirir un robot para cualquiera que sea la tarea que se le asigne. Aunado a eso la

capacitación de personal, sumado a la inversión del robot (instalación, mantenimiento y elementos adicionales), representan una inversión muy grande para cualquier persona física o empresa. Por todo esto resulta conveniente diseñar, fabricar, programar y armar a bajo costo brazos robóticos móviles que sirvan para formar a estudiantes en todo este proceso de robótica y al mismo tiempo generar infraestructura que sea reutilizable y adaptable en la mejora de tareas y procesos, para posteriormente incrementar los diseños y las aplicaciones.

## 2. Estado del Arte

El desarrollo de robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica, trata también de incrementar la autonomía limitando todo lo posible la intervención humana. Los precedentes de los robots móviles son dispositivos electromecánicos como el robot “micro-mouse” creado en los años 30’s usado para descubrir caminos en laberintos, o la un robot tortuga que subía pendientes y reaccionaba si encontraba obstáculos [6].

En los años sesenta, en la industria se aplicaron vehículos guiados por cables bajo el suelo o mediante sensores ópticos que seguían líneas trazadas en la planta. En los años 70’s se incluyeron a los robots móviles cámaras para suministrar visión como una herramienta de control. Con el desarrollo tecnológico de los 80’s se desarrollaron robots móviles para interiores y exteriores utilizados para navegación ya que contaban con suficiente inteligencia como para tomar decisiones basándose en observaciones del entorno. Después las investigaciones se centraron en la planificación de las trayectorias y en los movimientos concretos ligados directamente el control y velocidad del vehículo [7][8].

De esta necesidad nace la odometría que es la técnica usada en robots móviles para controlar y disponer medidas de posición y orientación en intervalos cortos. El siguiente paso fue la utilización de sistemas de posicionamiento global mediante satélites, que trajo como ventaja principal la reducción de los intervalos de sensado. Las cámaras de video, láseres y sensores ultrasónicos fueron algunos de los dispositivos agregados a los robots móviles a finales de los 90’s y principios del siglo XXI [9][10].

En la actualidad trabajos en la literatura hablan sobre robots autónomos y su clasificación en teleoperados (perciben el entorno y realizan planeación de tareas), de funcionamiento repetitivo (usados en producción industrial) y autónomos o inteligentes (perciben, modelan planifican y realizan una acción sin la intervención humana [11].

Adicionalmente a estos trabajos, la investigación muestra avances importantes en la aplicación de inteligencia artificial que tienen como base los modelos geométricos del entorno capturado, en la cual se incrementa la información mediante retroalimentación sensorial. También se diseñan arquitecturas para distintos tipos de planeación tomando en cuenta especificaciones sobre el tiempo que se tiene para responder y la disponibilidad de cierta información relevante para las señales de control, aunque uno de los problemas que más se comenta es la disparidad entre flexibilidad y eficiencia de los robots móviles en operación [12].

Como se puede ver en la literatura, el desarrollo de los robots móviles sigue vigente hasta el día de hoy, sin embargo, la tendencia de hacerlos autónomos y con funciones de navegación se centra en el control de los mismos y los diseños propios no se han explotado al máximo. En este trabajo se presenta un diseño propio de un robot móvil con un brazo robótico para obtener un robot de 5 grados de libertad, útil para tareas de manipulación en diversas disciplinas.

## 3. Metodología

La metodología consta de 4 etapas principales; diseño, fabricación, electrónica y control, La fase de diseño, del modelo correspondiente a la estructura exterior del brazo robótico móvil. El CAD

(diseño asistido por computadora) se realiza en el software SolidWorks versión 2015. Este proceso consiste en dimensionar cada una de las piezas, elementos y dispositivos de fijación por los que va a estar compuesto el robot y generar un modelo 3D de cada uno de estos para finalmente realizar un ensamble. El ensamble sirve de guía para armar los componentes y acomodar estos en un lugar estratégico con el objetivo de aprovechar los recursos geométricos de la manera más eficiente.

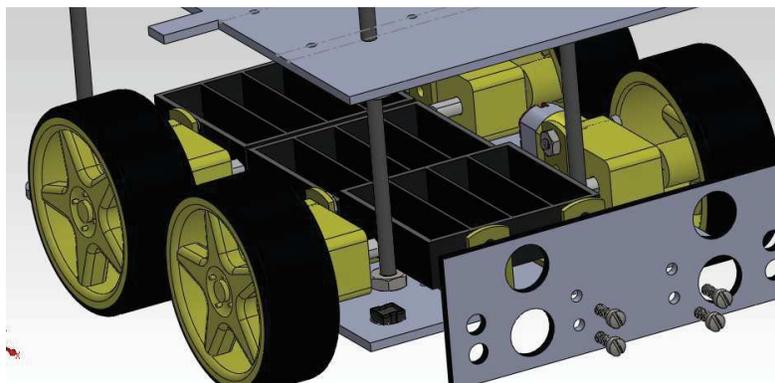
Todo el proceso de ensamble se realiza de manera secuencial para el acomodo de todos los elementos;

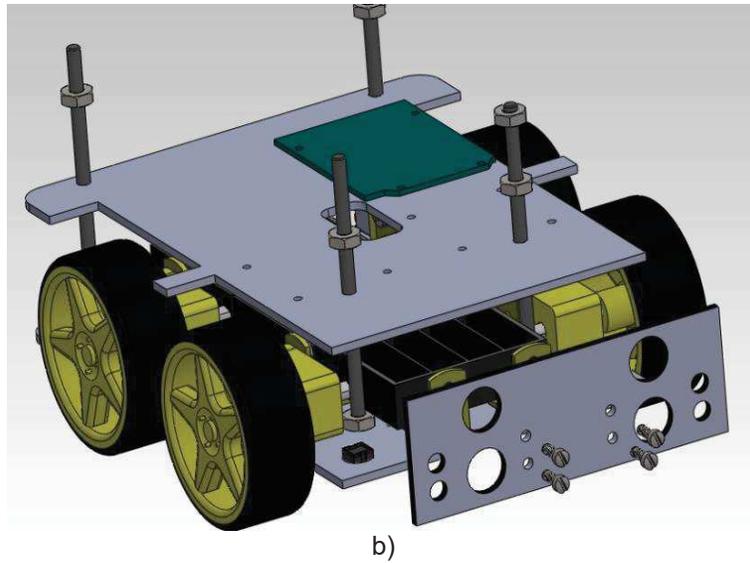
1. Porta Pilas: permite el acomodo y la conexión de las baterías AA de 1.2v (que se utilizarán 12 pilas para todo el sistema) en serie para el sistema de control y el sistema de potencia.
2. Motores: los motores o actuadores proporcionan el movimiento al robot, permitiendo avanzar o retroceder o en combinación, se diseñan estrategias para girar (izquierda o derecha) o trazar una trayectoria en zig-zag.
3. Sensores de línea: El led infrarrojo (IR) es un componente electrónico que emite luz infrarroja, caracterizada por encontrarse en una frecuencia menor ( $10^{-5}$  m) que la luz visible por el ojo humano ( $0.5 \times 10^{-6}$ m), por lo que sólo puede ser detectada por otro componente electrónico llamado fotodiodo. De esta manera el led infrarrojo actúa como el emisor y el fotodiodo como el receptor. La configuración usada es de tipo auto-reflexiva, es decir que tanto el emisor como el receptor se encuentran ubicados uno al lado del otro y la luz emitida que viaja en línea recta se refleja en un objeto o superficie hacia el fotodiodo (figura 5). Este tipo de luz se refleja sobre colores blancos o claros, si se hace sobre un color oscuro o negro la luz es mayormente absorbida, disminuyendo la intensidad que recibirá el fotodiodo. De acuerdo a este y al diseño del entorno, debe invertirse la señal para que pueda actuar sobre la línea negra.
4. Escuadras: las escuadras son una herramienta muy indispensable para este Prototipo ya que permite sostener y mantener en su lugar a elementos del robot como lo son los motores, defensa delantera y algunos interruptores. Son láminas de acero a  $90^\circ$ , tienen una medida de  $25 \times 15 \times 3$  mm y 4 barrenos de 4mm,
5. Puentes H: Permite controlar hasta 2 motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar. También permite controlar un motor paso a paso unipolar configurado como bipolar de forma muy sencilla y eficaz. El módulo permite controlar el sentido de giro y velocidad mediante señales TTL que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi y lauchpads de Texas Instruments. Algunas características son; Voltaje de alimentación, mínimo de 5 V. Posee dos entradas, una de 5V para controlar la parte lógica y otra para alimentar las salidas al motor, que pueden ser de 5V o más. La tarjeta tiene la opción de habilitar un regulador LM7805 integrado en ella para alimentar la parte lógica con lo que se puede alimentar la tarjeta con 12V por ejemplo. Corriente máxima 2 Amperios. Posee 6 entradas de control (ver tabla de control) Admite entradas de señal PWM para el control de velocidad. Dimensiones: 43 mm x 23,9 mm x 43 mm. Salidas: para 2 motores de DC o para un motor bipolar paso a paso.
6. Arduino: La fase de control se realiza a través de un entorno de programación, teniendo en cuenta la población principal a la cual va dirigida la actividad, por lo que es importante que sea de fácil acceso y uso. De esta manera, el control del robot se realiza a través el IDE de programación de Arduino. Estas placas son capaces de recibir información del ambiente o

entorno en el que se encuentren, procesarla, manipularla y controlar posteriormente una salida en la que pueden encontrarse motores, luces, sonido, entre otras. Una ventaja que tiene este tipo de hardware de código abierto y como aporte a la educación, es que además de la opción de compra también pueden obtenerse las características de hardware y así ser ensamblado libremente. El tipo de placa que se usa para este proyecto es la ONE, la cual cuenta principalmente con seis entradas análogas, 14 entradas/salidas digitales, un microcontrolador ATmega168, un voltaje de operación de 5 volts y una conexión por puerto USB que permitirá la alimentación y programación de esta placa.

7. Switch de límite: estos botones funcionan de una manera muy simple, tienen 3 salidas distintas, normalmente abierto, normalmente cerrado, común, dependiendo la función que se requiera se le puede “decir” que cuando reciba un pulso abra el circuito o de lo contrario lo cierre, se acciona mediante una tipo palanca que cuando se llega a su “límite” manda el pulso, este switch es muy útil ya que no es necesario pulsarlo sino con un breve recargo se acciona, para reemplazar este en caso de que se averíe o queme es necesario retirar 2 tornillos de 2mm con tuerca de 2 mm (cada uno y en este caso son 4 limit switch)
8. Sensor Ultrasónico; El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 cuenta con las siguientes características; Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm, Tensión de alimentación: 5 Vcc, Frecuencia de trabajo: 40 KHz, Rango máximo: 4.5 m, Rango mínimo: 1.7 cm, Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10  $\mu$ S, Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000  $\mu$ S, Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS.

Además, se ensamblan otros elementos como las bases para colocar los sensores frontales e inferiores y los postes para sujetar los dos niveles subsecuentes en altura del robot. En la Figura 1 se muestra el ensamble CAD de la sección móvil de robot, en la Figura 1a se aprecia el acomodo y ensamble con tornillería y en Figura 1b el segundo piso de la base para el brazo. Finalmente en Figura 3 se muestra el diseño CAD del ensamble completo del robot móvil manipulador de 5 grados de libertad y la lista de elementos por los que está compuesto.

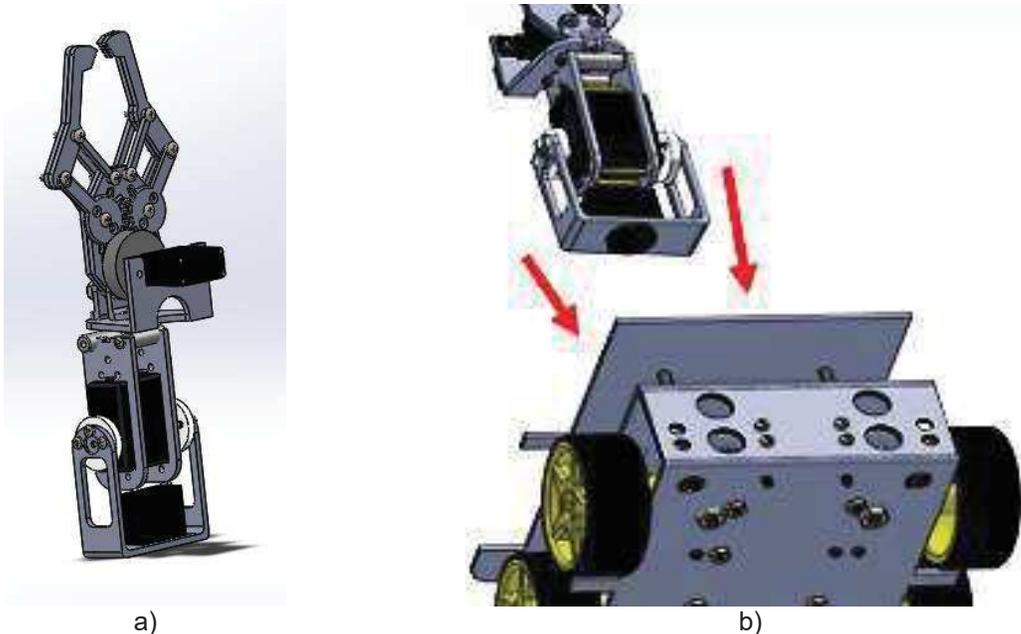




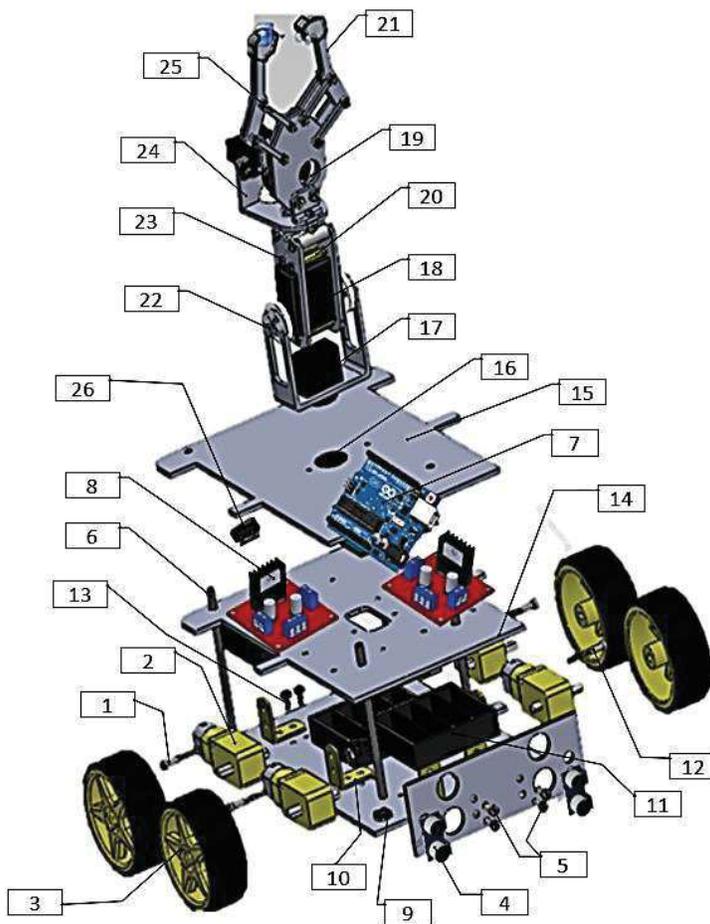
**Figura 1: Ensamble de la parte móvil del robot a) Ensamble del primer nivel, b) ensamble del segundo nivel**

La última parte del diseño CAD se centra en los tres grados de libertad restantes, el brazo manipulador que consiste en tres servomotores que permiten dos giros independientes y la apertura de los dedos o el órgano terminal del robot, mismo que se encarga de manipular los objetos para levantarlos, bajarlos, llevarlos o traerlos, según la necesidad del usuario.

Estos elementos se maquinaron en CNC en aluminio. En particular las piezas de este brazo sufrieron un proceso de optimización en el diseño basado en peso, es decir que se redujo el peso lo más posible sin perder la capacidad de carga de cada uno de los eslabones. En la Figura 2 se muestra el brazo robótico ensamblado y su sub-ensamble con la parte móvil del robot móvil manipulador. Finalmente en la Figura 3 se muestra el ensamble total de todo el robot y su lista de partes



**Figura 2: Ensamble del brazo, a) Ensamble completo, b) Ensamble con la parte móvil del robot**

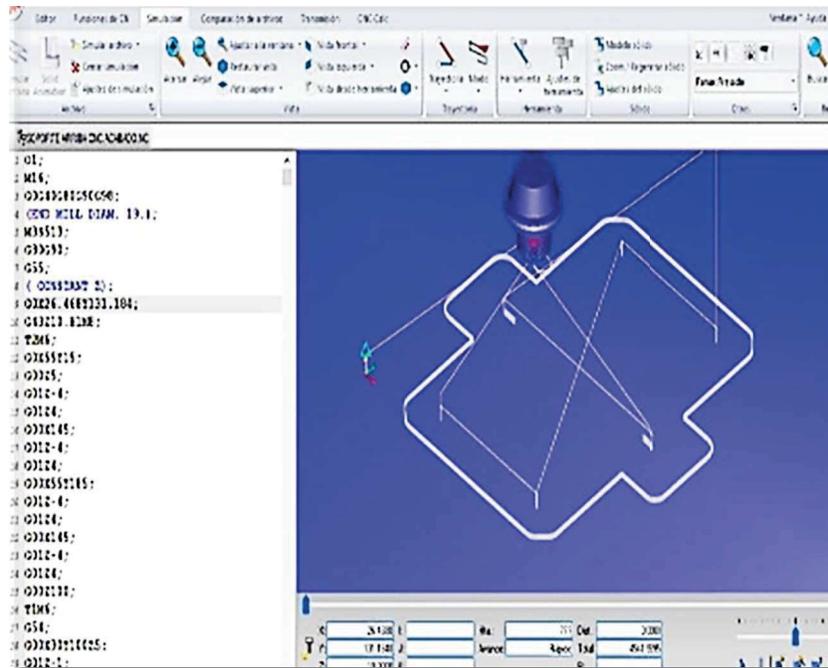


1. Llanta.
2. Motor de corriente directa de 6v a 12v.
3. Sensor ultrasónico hc-sr04.
4. Carátula frontal.
5. Tornillo ajustador de caratula frontal.
6. Esparrago o tornillo sin fin.
7. Arduino ONE.
8. Puente H I298.
9. Chasis.
10. Escuadras.
11. Porta pilas.
12. Tornillo ajustador de motor de corriente directa.
13. Tornillo ajustador de escuadras.
14. Soporte de circuitos.
15. Soporte de brazo manipulador.
16. Servo motor de eje central.
17. Servo motor de articulación.
18. Servo motor de tenazas.
19. Tenazas.
20. Soporte de servo central.
21. Soporte de servo articulador.
22. Soporte de servo de tenaza.
23. Tornillos de brazo manipulador.

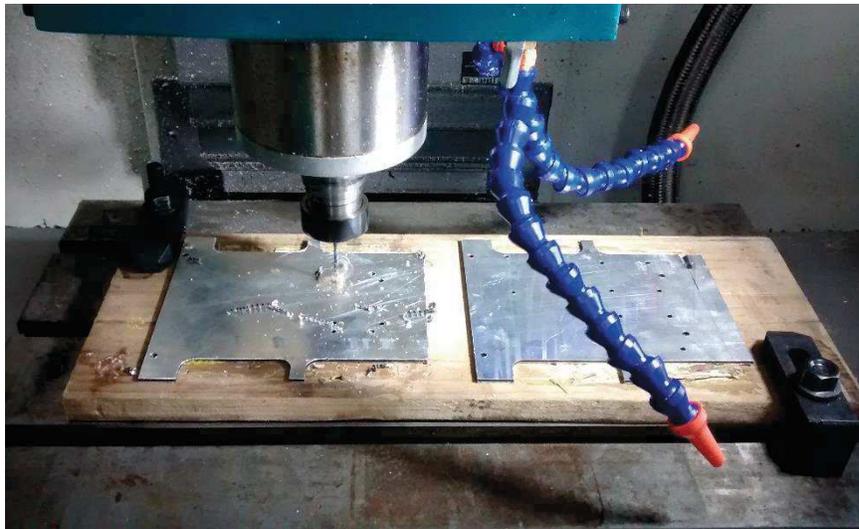
**Figura 3. Diseño CAD del robot móvil de 5 grados de libertad.**

Para la fabricación de las bases y tapas de placa de aluminio, se escribe un programa en código G y M de la periferia y los orificios necesarios, según el CAD y se simula en el software CIMCO. Con el código completo, se realiza el CAM (manufactura asistida por computadora) en un centro de maquinado CNC (control numérico por computadora) modelo CMV-420L marca Dynamach. Con el uso de cortadores de cuatro gavilanes y brocas de distintos diámetros se maquina la placa de aluminio para obtener la estructura externa del robot. En la Figura 4 se puede observar parte del procedimiento de fabricación asistido por computadora, en la Figura 4a se muestra la simulación en CIMCO y las trayectorias de las herramientas, en la Figura 4b la placa de aluminio-plástico siendo maquinado en la máquina CNC.

El siguiente paso es el diseño electrónico de todos los componentes como sensores, Arduino y actuadores (motores). Se inicia con los puentes H que son la denominada “etapa de potencia” que permite recibir la señal de control y enviar el voltaje adecuado a los motores para controlar el sentido de giro y velocidad. Para este prototipo se usan un par de controladores L298N para motores los 4 motores DC Estos drivers de manejan una alimentación de 6 a 12v, una temperatura de funcionamiento de 25 a 130°C, y con dimensiones de 47x53mm.



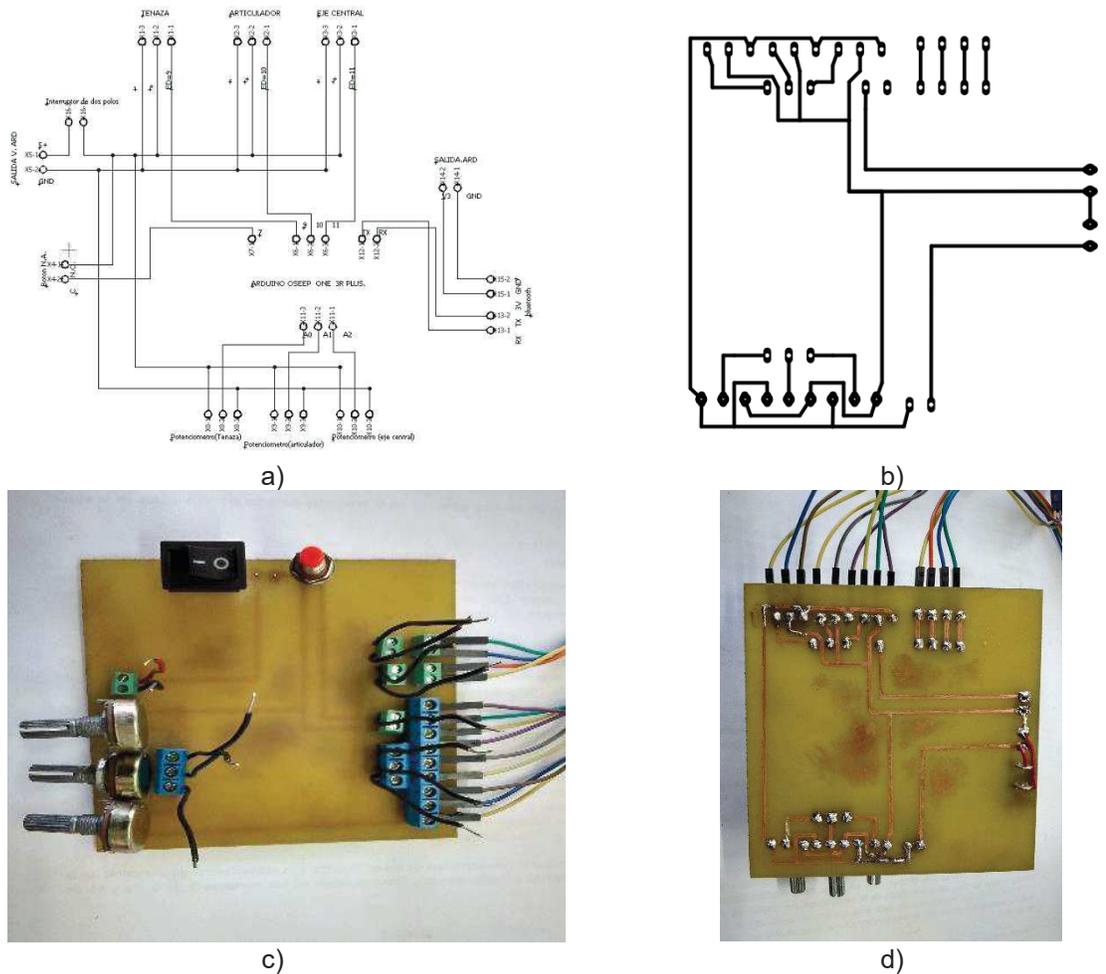
a)



b)

**Figura 4. Manufactura asistida por computadora. a) Simulación de código G, b) Fabricación en centro de maquinado CNC.**

Finalmente se utiliza el software Eagle 7.5 con el cual se genera un diseño electrónico en esquemático en donde se conectan todos los elementos de manera virtual y se genera una tarjeta con pistas y terminales de conexión, restringiendo las pistas de acuerdo al tamaño de los componentes físicos a una tablilla de 10cm x 10cm. Después, se imprime la pista en acetato transparente con impresora láser, se plancha sobre la tablilla fenólica y se introduce en ácido férrico para eliminar el cobre excedente de la tabla, finalmente se barrenan los orificios con una broca de 1.5 mm y se sueldan resistencias, puentes y clemas a la tarjeta. En la Figura 5 se muestra el diseño de la tarjeta del brazo manipulador, en la Figura 5a se observa el diseño de pistas de manera virtual en el software Eagle, en la Figura 5b el diseño de las pistas ya acomodadas, en la Figura 5c la tarjeta terminada vista de frente y en la Figura 5d vista desde la parte posterior, en donde se observan las pistas.



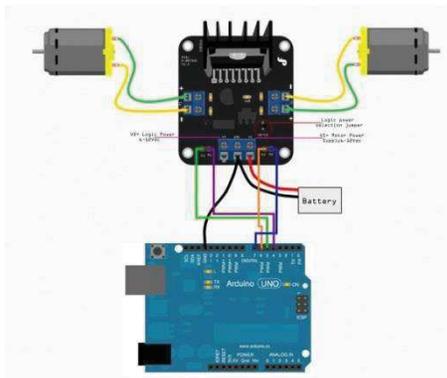
**Figura 5. Diseño de tarjetas electrónicas. a) diseño virtual, b) esquemático, c) tarjeta frente, d) tarjeta posterior**

La última etapa es la programación del Arduino, en la Figura 6 se muestra el código utilizado para la comunicación inalámbrica, y la fase de control, en la que se conectan los puentes H, motores, servomotores, módulo Bluetooth, sensores infrarrojos y switch de límite. La programación se lleva a cabo por secciones, comenzando con los motores para los movimientos lineales y giratorios, después el correcto funcionamiento de las señales de control según los valores entregados por los sensores ultrasónicos, sensor de límite, infrarrojos y las señales de control de los servomotores. Adición a la programación, se lleva un riguroso plan de pruebas y optimización de procedimientos y códigos para dejar a punto el funcionamiento del robot.

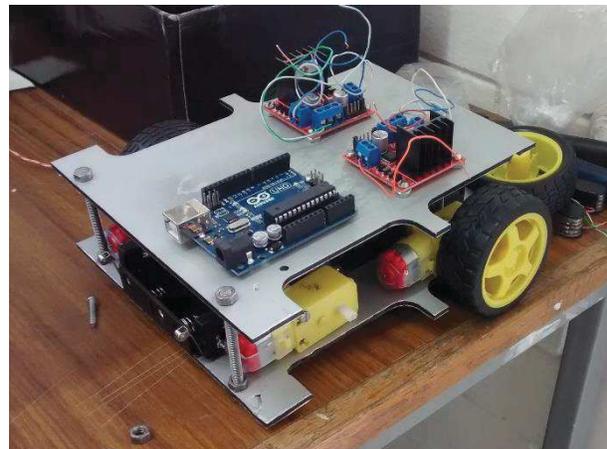
En la Figura 7 se presenta procesos de conexión, en la Figura 7a se ve el diagrama de conexión entre el Arduino, puente H y motores de AC. En la Figura 7b algunos de los componentes fijos en la estructura externa del motor y el inicio del cableado.

```
1
2 int led=13;
3 // the setup routine runs once when you press reset:
4 void setup()
5 {
6   // initialize serial communication at 9600 bits per second:
7   Serial.begin(9600);
8   pinMode(led,OUTPUT);
9 }
10 // the loop routine runs over and over again forever:
11 void loop()
12 {
13   int dato;
14   // read the input on analog pin 0:
15   if (Serial.available()>0)
16   {
17     dato=Serial.read();
18     if(dato=='a')
19     {
20       digitalWrite(led,HIGH);
21     }
22     if(dato=='b')
23     {
24       digitalWrite(led,LOW);
25     }
26   }
27   delay(100);
28 }
29
30
```

Figura 6. Código para la programación de la comunicación por Bluetooth.



a)

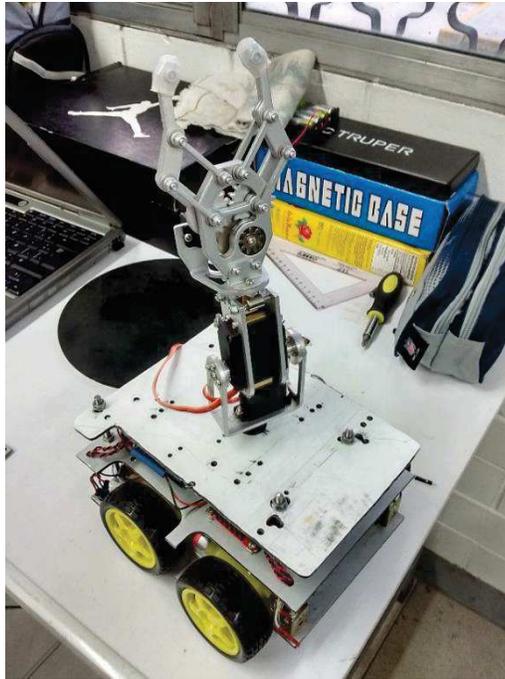


b)

Figura 7. Conexiones del robot. a) motores, b) ensamblaje general.

#### 4. Resultados

El resultado más importante es el prototipo construido después del proceso de diseño, fabricación, integración, programación y ensamblaje. Este robot móvil manipulador tiene la capacidad de moverse en línea recta para adelante o para atrás, además de realizar giros a la izquierda y a la derecha, con pivote en el centro de masa de la base o en uno de los extremos laterales. Además cuenta con un brazo robótico de 3GDL en la parte superior ensamblado al robot móvil con un "gripper" de tenaza de dos dedos. En la Figura 8 se muestra el robot de 5GDL ensamblado, conectado y funcional.



**Figura 8. Robot móvil manipulador**

El uso de sensores ultrasónicos le da al robot la posibilidad de detectar objetos que se interpongan en la trayectoria, siendo posible evitar posibles colisiones que dañen el robot o el objeto que se encuentra a medio camino. Además, es posible programar una secuencia tal que el mismo brazo manipulador al detectar la distancia precisa a la que está el objeto que estorba, lo tome y lo quite del camino, para seguir con el trayecto inicial. Por otro lado, la velocidad de operación de la parte móvil es de 0.14 m/s lo que representa una velocidad de operación adecuada.

El robot tiene una estructura flexible tanto en software como en hardware ya que es posible montar o desmontar el brazo robótico y cargar programas distintos para que se usen los sensores ultrasónicos, infrarrojos, y de límite a conveniencia, aplicando el uso del robot a distintas áreas de la manipulación de distintos objetos y en diversos ambientes, como por ejemplo un robot seguidor de línea utilizado para transportar documentos (ver Figura 9).



**Figura 9. Estructura flexible de diseño del robot móvil, en seguidor de línea**

El prototipo de un brazo robótico móvil de 5 grados de libertad diseñado y fabricado para realizar un recorrido lineal y/o circular por medio de 4 llantas y un brazo robótico montado en la sección superior de la parte móvil con tres grados de libertad constituido por un hombro, codo y una mano, ha sido fabricado exitosamente. Presenta un método simple para la manipulación de objetos operándolo alámbrica o inalámbricamente. La estructura del robot presenta un espacio cómodo de operación con dimensiones de 20cm x 20cm y una altura máxima de 37cm. Cuenta con cinco gados de libertad y control basado con tecnología Arduino.

## 5. Conclusiones

El título de esta sección, y de las siguientes dependerá de la estructura del artículo. La separación entre un título y el párrafo superior es de dos renglones, y de un renglón con respecto al párrafo inferior.

Cuando en el artículo se requiera resaltar alguna información, se solicita a los autores escribir dicha parte del texto en negrita. Para el caso de este documento, es importante que el autor considere que el número mínimo de páginas es de doce, y el máximo de páginas por artículo es de catorce, el número total de páginas debe ser par. No se aceptarán artículos que no cumplan con las indicaciones.

Uno de los propósitos fue la construcción del prototipo de robot móvil manipulador a bajo costo, por lo que la elección de los componentes tales como 2 Arduinos, 3 servomotores, 2 puentes H, 4 motores de CC con reductor, 12 baterías AA recargables, estructura de panel de aluminio, y tres servo y placas de aluminio fueron adecuadas al sumar un costo total de \$3545.78 pesos, siendo una cantidad mínima de inversión para obtener un robot de 5 grados de libertad de arquitectura flexible y uno de los más baratos en su tipo. En la Tabla 1 se muestran los elementos utilizados y los costos de estos.

**Tabla 1: Materiales utilizados**

Cantidad	Elemento	Costo Unitario	Importe	Características
2	Arduino UNO	\$240.52	\$481.04	Genérico
2	Controlador para motor	\$110.34	\$220.68	Puente H dual
2	Placa fenólica	\$11.00	\$22.68	10x10 cm
4	Sensor óptico reflector	\$12.06	\$48.24	1 canal
2	Sensor ultrasónico	\$56.04	\$112.08	Para Arduino
4	Micro switch	\$16.81	\$67.24	De limite
15	Clemas	\$3.50	\$52.50	Dobles
19	Clemas	\$4.00	\$76.00	Triples
1	Modulo Bluetooth	\$172.41	\$172.41	RS232 4dB
4	Motoreductor con motor	\$58.00	\$232.00	4.5 Kg de fuerza
4	Llanta amarilla	\$27.58	\$110.32	6.5x2.7 cm
3	Servomotores	\$50.00	\$150.00	para robot 2
1	Placas de aluminio	\$73.27	\$73.27	Reciclado
1	Servomotor 2.7/4.8kg	\$250.00	\$250.00	180 grados
1	Montaje con servo	\$578.00	\$578.00	Para garra
1	Placa de aluminio	\$450.00	\$450.00	120 x 120 cm
3	Baterías AA x4	\$110.00	\$330.00	Recargables
4	Portapilas	\$30.00	\$120.00	4 pilas AA
Total			\$3545.78	

Los diseños de manufactura (CAM), diseño del modelo (CAD) y el diseño eléctrico fueron adecuados, ya que además de que todos los módulos funcionan correctamente, los ensambles planeados y maquinados coincidieron perfectamente, por lo que no hubo que hacer adecuaciones mecánicas después del ensamble.

## Referencias

- [1]. Bicho E. Detecting, representing and following walls based on low-level distance sensors, In Proceedings of the Second International ICSC Symposium on Neural Computation (NC2000), Berlin, Germany, 2000.
- [2]. Borenstein J. and Noren Y., Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots, Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 572-577, 1990.
- [3]. Chavarría M. A. Percepción monocular para el control de robots móviles. Memorias de X Congreso Latinoamericano de Control Automático, Guadalajara, México, Diciembre 2002.
- [4]. Jones J. L. Flynn A. M., Mobile robots: inspiration to implementation Wellesley, MA, A.K. Peters, 1993.
- [5]. Kraut J., An Autonomous Navigational Mobile Robot, Bachelor of Science Thesis. Department of Electrical and Computer Engineering. University of Manitoba, Canada, 2002.
- [6]. Wang, D. and Xu, G., Full-State Tracking and Internal Dynamics of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots, IEEE ASMAE Trans. on Mechatronics 8, pp.203-214,2003.
- [7]. Silva-Ortigoza, R., Molina-Vilchis, M. A., HernándezGuzmán, V. M., Silva-Ortigoza, G., Marciano-Melchor, M. y Portilla-Flores, E. A., Modelado y control de un robot móvil tipo Newt en la tarea de seguimiento de trayectoria, Télématique 7, pp. 129-145, 2008.
- [8]. Sira-Ramírez, H. and Agrawal, S. K., Differentially Flat Systems, Marcel Dekker, New York, 2004.
- [9]. Silva-Ortigoza, R., Silva-Ortigoza, G., y HernándezGuzmán, V. M., Trajectory Tracking in a mobile robot without using velocity measurements for control of wheels, IEEE Latin American Transactions 6, 598-607, 2008.
- [10]. Ollero, A., Robótica Manipuladores y robots móviles, Marcombo, Barcelona, 2001.
- [11]. Barrientos-Sotelo, V. R., Análisis, diseño y construcción en tiempo real de un robot móvil tipo Shakey en el seguimiento de trayectoria, Tesis de maestría dirigida por R. Silva Ortigoza y J. M. Albarrán, CIDETEC-IPN, México, 2008.
- [12]. Granosik, G. and Borenstein, J., *Integrated joint actuator for serpentine robots*, IEEE/ASME Trans. On Mechatronics, pp. 473-481, 2005.

# Cap.2 Diseño de Trayectoria Aleatoria Mediante FPAA para Robot Uniciclo

Ontañón-García LJ<sup>a\*</sup>, Silva-Campos JM<sup>b</sup>, Lozoya-Ponce RE<sup>c</sup>,

<sup>a</sup>Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP,

<sup>b</sup>Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C., campus San Luis Potosí,

<sup>c</sup>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus San Luis Potosí,  
luis.ontanon@uaslp.mx

## Resumen

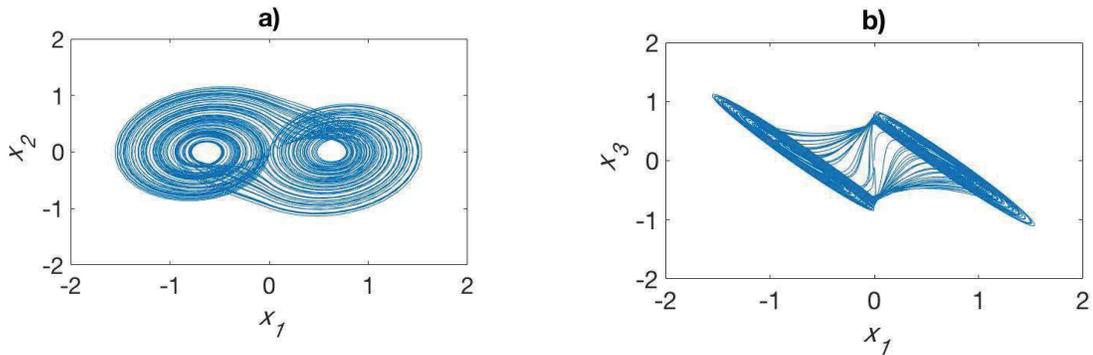
*Se presenta el diseño de un sistema caótico implementado electrónicamente, con el fin de inducir trayectorias impredecibles en una flotilla de robots tipo uniciclo para la cobertura de áreas determinadas de forma síncrona. El sistema es capaz de generar un atractor doble enroscado con características deseables para la generación de trayectorias aleatorias. La implementación electrónica de dicho sistema es realizada mediante los sistemas embebidos determinados como Field Programmable Analog Array (FPAA), los cuales son capaces de interconectar y reconfigurar amplificadores operacionales mediante arreglos de capacitores e interruptores reproduciendo el comportamiento analógico de la solución del sistema.*

**Palabras clave:** Sistemas caóticos, seguimiento de trayectorias, robot uniciclo, sistemas embebidos, FPAA.

## 1. Introducción

A partir del sistema dinámico no lineal caótico que diseñó el científico estadounidense Edward Lorenz en los años sesenta [1]. El estudio del caos, se ha extendido a una infinidad de aplicaciones y áreas de la ciencia ya que muchos de los fenómenos naturales que ocurren a nuestro alrededor, pueden ser representados mediante sus características. Actualmente existen muchas técnicas para diseñar sistemas con soluciones caóticas. Sin embargo, una de las más utilizadas es mediante los sistemas lineales por pedazos (PWL), los cuales son de gran interés para la comunidad científica debido a las características que presentan y los fenómenos que pueden reproducir. Estos sistemas han sido fuertemente relacionados con el estudio del caos debido a las no linealidades que pueden llegar a producir. Una de sus principales ventajas, es que pueden presentar atractores con múltiples enroscados dependiendo de las funciones y superficies de conmutación que se consideren. Desde el trabajo de Suykens en [2] acerca de atractores doble-n en el sistema de Chua, se han reportado diferentes aproximaciones para obtener atractores multi-enroscado. Estos métodos van desde modificar la parte no lineal en el Sistema de Chua, hasta usar funciones no lineales tales como histéresis, saturación y función escalón (véase [3,4] y las referencias en ellas). A partir de ellos en [4], se implementó una generalización de todas estas técnicas con los determinados sistemas disipativos inestables (UDS) por sus siglas en inglés. En la cual se toman puntos de equilibrio del tipo foco-ensilladura y se caracterizan por los valores propios que presentan en sistemas UDS del tipo I o del tipo II. Mediante esta caracterización se pueden diseñar sistemas que presenten n número de enroscados, acordes con el número de puntos de equilibrio que presente el sistema. Y han sido utilizados comúnmente en aplicaciones de seguridad y encriptación de datos, por ejemplo en las determinadas en [5] y las referencias ahí indicadas.

Una de las áreas que ha sido frecuentemente abordada en temas de caos mediante estos sistemas, es el estudio del fenómeno de sincronización. Después de los primeros reportes por Pecora y Carroll [6], se han desarrollado diferentes técnicas de acoplamiento entre sistemas caóticos, por ejemplo las descritas en [7]. Por lo cual es posible diseñar métodos de acoplamiento para el control de sistemas, o



**Figura 1. Proyección del atractor caótico del sistema (2) con (3) en los planos: a)  $(x_1, x_2)$ ; b)  $(x_1, x_3)$**

el forzamiento de trayectorias específicas. Por ejemplo en el uso de robots móviles para realizar tareas eficaces y eficientes de forma sincronizada.

Existen actualmente aplicaciones interesantes de los robots móviles, como transporte industrial, dispositivos de limpieza de pisos [8,9]. Recientemente, en el campo de la Robótica Avanzada, se han estado proponiendo tareas de exploración y vigilancia mediante robots móviles, en donde es necesario que los robots cumplan al menos con los objetivos de cubrir toda un área determinada y de realizarlo de una manera impredecible (sobre todo para los casos de vigilancia o patrullaje). Para cumplir con estos objetivos se ha propuesto el empleo de sistemas caóticos para el forzamiento de trayectorias impredecibles [10].

De tal manera que en este trabajo se presenta el diseño de un sistema caótico con la intención de generar trayectorias caóticas en el movimiento de robots del tipo unicyclo. La implementación del sistema caótico será a través de los sistemas embebidos reconfigurables determinados Field Programmable Analog Array (FPAA) de la empresa Anadigm, los cuales permiten el diseño de sistemas mediante la interconexión de amplificadores operacionales en sus diferentes configuraciones: sumador inversor, seguidor de línea, integrador, etc.

El artículo está conformado de la siguiente forma, en la Sección 2 se presenta la teoría matemática que involucra el desarrollo de los sistemas caóticos multienroscado; en la Sección 3 se muestra el diseño del circuito electrónico mediante la utilización de amplificadores operacionales y el software asistido de Anadigm para la programación de la FPAA. Los resultados experimentales se describen en la Sección 4 y por último las conclusiones en la Sección 5.

## 2. Sistemas dinámicos inestables del tipo I

Los sistemas dinámicos inestables del tipo I (abreviados por las siglas UDS del tipo I como se presentaron en [4]) se basan en la composición de sistemas inestables lineales a pedazos o PWL (por sus siglas en inglés). Consideremos un sistema dinámico de la forma:

$$\dot{x} = \mathbf{f}(x, t), \quad (1)$$

donde  $x = [x_1, \dots, x_n]^T$  es la variable de estado,  $t$  se refiere al tiempo transcurrido y  $\mathbf{f} = [f_1, \dots, f_n]^T$  determina la dinámica del sistema, donde  $\mathbf{f}: t \times E \rightarrow E$  es una aplicación continua de un subconjunto abierto de  $\mathbf{R}^n$ . La trayectoria de estos sistemas en el tiempo se rige por el valor o condición en la que se encuentren en un tiempo inicial, esté o estos valores representados por  $x_0$  se conocen como condiciones iniciales. Una de las características más importante de los sistemas dinámicos es que el mismo sistema puede presentar trayectorias completamente diferentes si sus condiciones iniciales no son exactamente iguales [4].

### 2.1 Estabilidad local de un sistema dinámico

Para entender el comportamiento y las propiedades que pueden surgir en este tipo de sistemas es

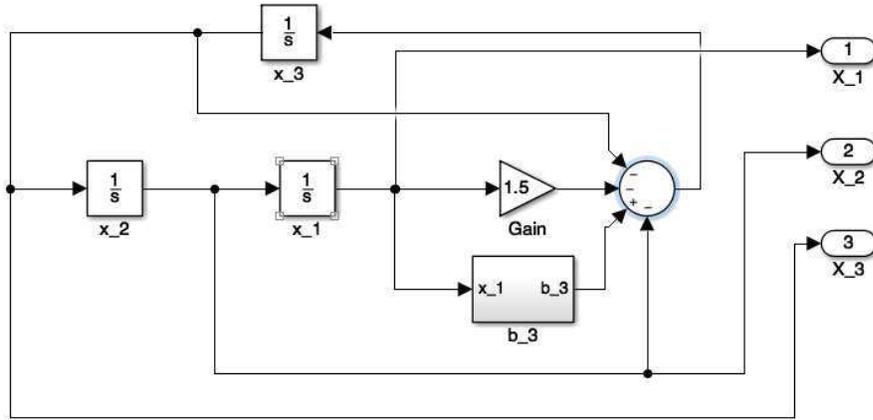


Figura 2. Modelo a bloques en Simulink de la solución del sistema dado por la ec. (2) con (3).

necesario estudiar su estabilidad local. La parte lineal ayuda a entender la tendencia de movimiento de un sistema dinámico como el dado por la ecuación (1), se calcula mediante el Jacobiano. Este tipo de estabilidad es fundamental en el diseño de sistemas con caos y múltiples enroscados. En general la estabilidad local está representada por los eigenvalores  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  del sistema. Por ejemplo, un sistema estable presentará puntos de equilibrio que resulten en eigenvalores negativos, un sistema caótico con múltiples enroscados tendrá puntos de equilibrio tanto estables como inestables del tipo ensilladura.

### 2.2 Multienroscado en sistemas lineales por pedazos

Gracias al tipo de puntos de equilibrio que presentan los sistemas caóticos, sus trayectorias en el espacio se contraen en alguna dimensión pero se expanden en otra, resultando en las formas complejas conocidas como atractores. Sin embargo este tipo de órbitas se pueden generar también mediante puntos de equilibrio inestables del tipo silla si se considera un sistema lineal por pedazos. Este tipo de sistema se describe de la siguiente forma:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}(x),$$

$$\mathbf{B}(x) = \begin{cases} B_1, & \text{si } x \in D_1; \\ B_2, & \text{si } x \in D_2; \\ \vdots & \vdots \\ B_k, & \text{si } x \in D_k; \end{cases} \quad (2)$$

en donde  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in \mathbf{R}^n$  representa el vector de estados,  $\mathbf{B} \in \mathbf{R}^n$  es un vector real,  $\mathbf{A} = [\alpha_{ij}] \in \mathbf{R}^{n \times n}$  con  $i, j = 1, 2, \dots, n$  denota un operador o matriz lineal. Si se considera que  $\mathbf{R}^n = \cup_{i=1}^k D_i$ , en donde  $D_i$  corresponden a los dominios del sistema, los puntos de equilibrio de (2) son  $x_i^* = -\mathbf{A}^{-1}B_i$ , con  $i = 1, \dots, k$ , en donde  $k$  corresponde al número de dominios introducidos en (2). La dinámica del sistema está dada por la matriz  $\mathbf{A}$ , la cual presenta una variedad estable  $E^s$  y una inestable  $E^u$ . Debido a la forma que toman sus puntos de equilibrio, sería posible definir el siguiente tipo de sistemas UDS:

**Definición 2.1:** Decimos que el sistema (2) es UDS si  $\sum_{i=1}^n \lambda_i < 0$ , en donde  $\lambda_i, i = 1, \dots, n$ , son eigenvalores de la matriz  $\mathbf{A}$  y al menos un  $\lambda_i$  es real negativo, y dos  $\lambda_i$  son complejos conjugados con parte real positiva  $Re\{\lambda_i\} > 0$ .

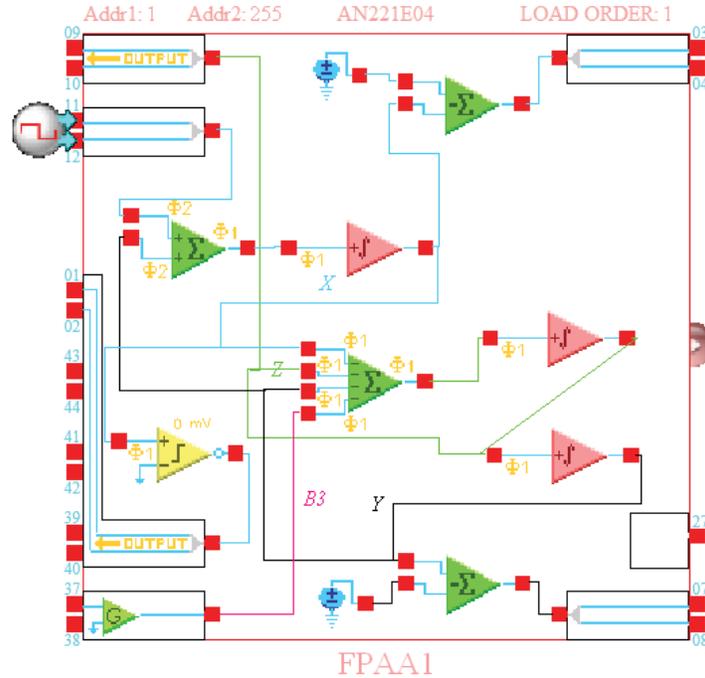


Figura 3. Implementación electrónica del sistema (2) con (3) mediante FPA AN221E04.

El objetivo es definir vectores  $B_i$  asegurando la estabilidad de una clase de sistemas dinámicos en  $R^n$  con oscilaciones dentro del atractor. En otras palabras, para cada condición inicial  $x_0 \in R^n$ , la órbita  $\phi(x_0)$  del sistema (2) está atrapada en un atractor caótico al definir al menos dos vectores  $B_1$  y  $B_2$ .

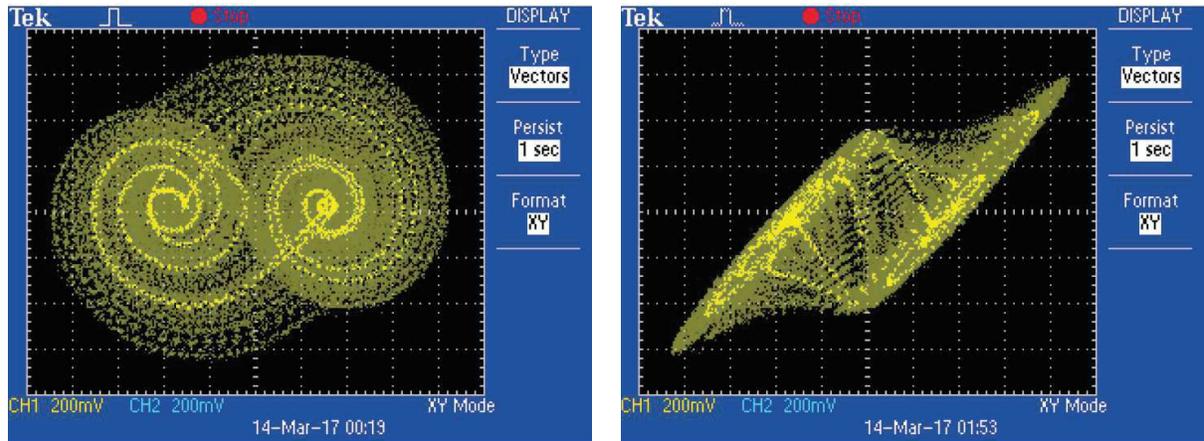
Esta clase de sistemas puede desplegar varios atractores multi-enroscados como el resultado de la combinación de varias trayectorias espirales inestables, *i.e.*, estamos interesados en un vector de campo que pueda producir atractores multi-enroscados mediante vectores conmutados  $B_i, i = 1, \dots, k$  y  $k \geq 2$ . Por lo tanto definimos un sistema caótico multi-enroscado UDS como se muestra a continuación:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1.5 & -1 & -1 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \beta_3 \end{bmatrix}; \beta_3 = \begin{cases} 1 & \text{si } x_1 \geq 0, \\ -1 & \text{si no} \end{cases} \quad (3)$$

lo cual resulta en el conjunto de eigenvalores  $\lambda = \{-1.20, 0.10 \pm 1.11i\}$ , el cual satisface la Definición 2.1. Los puntos de equilibrio del sistema (3) usando la matriz  $A$  y el vector  $B$  definido en (3) son:  $x_1^* = (1.2, 0, 0)^T$  y  $x_2^* = (-0.6, 0, 0)^T$ . Así el sistema resulta en un atractor con dos enroscados como se puede apreciar en la Figura 1 a través de la simulación numérica mediante el método de integración de Runge Kutta de 4to orden. El cálculo del exponente máximo de Lyapunov resulta en 0.10, demostrando que es un sistema caótico.

### 3. Diseño e implementación del circuito mediante FPA

Debido a la forma diferencial que presenta el sistema dinámico descrito en la ecuación (2) con (3), se podrá diseñar un circuito electrónico que mediante amplificadores operacionales que represente físicamente el sistema. Para esto será necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones y técnicas de configuración en amplificadores operacionales. A partir de la primer ecuación del sistema  $\dot{x}_1 = x_2$ , mediante la integración en ambos lados de la igualdad resultaría en lo siguiente:  $x_1 = \int x_2 dt + C_1$ . Así, las ecuaciones para  $x_2$  y  $x_3$  se pueden resolver de igual manera resultando el digrama de bloques representado en la Figura 2 por Simulink de Matlab. En donde el bloque b\_3 corresponde a la función a pedazos representada por el vector afín  $B$ .



**Figura 4. Mediciones de voltaje de los estados: a)  $(x_1, x_2)$ ; b)  $(x_1, x_3)$**

Debido a las características de la conmutación de este vector, su implementación electrónica se puede realizar mediante un circuito comparador a través de amplificadores operacionales el cual será explicado más adelante.

Ahora, considerando el modelo a bloques del sistema, su implementación resulta fácil mediante el software de la compañía de dpASP (dynamically programmable Analog Signal Processing) de Anadigm denominó Anadigm Designer 2, mediante el cual se puede hacer la interconexión de los determinados Configurable Analog Modules (CAM's). Estos bloques localizados en el chip AN221E04 de Anadigm, consisten en amplificadores operacionales que pueden ser reconfigurados internamente mediante el uso de arreglos de capacitores y switches de interconexión. El alambrado del circuito basado en el modelo de bloques descrito resulta en lo que se muestra en la Figura 3. Aquí se pueden apreciar los elementos de integración, sumador inversor, fuentes de voltaje y un circuito comparador. Las especificaciones de cada elemento de acuerdo a las características del sistema están dados en la Tabla 1.

## 4. Resultados

Tras el diseño del circuito en la FPAAN221E04, se hizo la implementación en el sistema de desarrollo AN221K04-v4 a 5v. El cual funciona como una tarjeta de desarrollo para el chip de la versión previamente indicada. Las mediciones realizadas mediante un osciloscopio Tektronix TDS2014 en el formato XY se pueden apreciar en la Figura 4. Note la similitud de la salida de voltaje con la solución numérica mostrada anteriormente en la Figura 1. Lo cual demuestra que la solución del circuito representa el comportamiento del sistema dado en la ec. (2) con (3).

Una de las características más importantes de esta implementación electrónica, es el hecho de que las condiciones iniciales  $x_0$  que se dan al circuito electrónico, representadas internamente por los voltajes de activación que presentan los capacitores conectados en los módulos de integración 1, 2 y 3, son completamente impredecibles e imposibles de reproducir. Incluso al momento de energizar el sistema embebido cualquier caso de capacitancia o corriente parásita que presente la fuente, terminará en valores diferentes para las condiciones iniciales al momento de integración de la señal del sistema. Esto resulta en señales caóticas del tipo aleatorias que podrán ser inducidas al movimiento de robots del tipo unicycle en la misma forma que Nakamura y Sekiguchi proponen en [10].

## 5. Conclusiones

Los sistemas caóticos son capaces de reproducir trayectorias complejas dependiendo de sus parámetros intrínsecos. Dichos sistemas, al momento de ser simulados mediante herramientas computacionales, tales como métodos de integración del tipo Runge Kutta, necesitan ciertas condiciones iniciales  $x_0$  que son imposibles de mantener en niveles exactos de voltaje. Por lo cual, a diferentes condiciones iniciales, diferentes trayectorias emitidas por el sistema. Esto ayuda en el desarrollo de trayectorias aleatorias necesarias para el acoplamiento de robots del tipo unicycle en aplicaciones de vigilancia y seguridad. La interconexión de dichos robots acoplados a la señal caótica aleatoria se llevará a cabo mediante los métodos de acoplamiento propuestos en [6] y [10] presentando la ventaja de utilizar FPAA y el sistema multi-enroscado presentado aquí.

**Tabla 1. Tabla de especificaciones de los elementos de la FPAA.**

Elemento	Espec.	Elemento	Espec.	Elemento	Espec.	Elemento	Espec.
<b>Master Clock DCLK (fc)</b>	16 MHz	<b>Comparator 1</b>	Signal Ground	<b>Input Cell 2</b>	Input	<b>Voltage 1,2</b>	+3v
<b>System Clock</b>	1 MHz	<b>Integrator 1,2,3</b>	Integration constant [1/us] 0.0250	<b>Input Cell 3</b>	Input Single-Ended	<b>SumInv 1</b>	Gain1=-0.50 Gain2=-1.00
<b>Chopper Clock</b>	250 KHz	<b>SumDiff 2</b>	Gain1=-1.50 Gain2=-1.00 Gain3=-1.00 Gain4=-0.20	<b>Input Cell 4</b>	Output A	<b>SumInv 2</b>	Gain1=-1.00 Gain2=-0.90
<b>Input Cell 1</b>	Output	<b>SumDiff 4</b>	Gain1=0.10 Gain2=1.00	<b>Output Cell 1</b>	Bypass	<b>Output Cell 2</b>	Bypass

## Agradecimientos

L.J.O.G. agradece el apoyo otorgado por la UASLP a través del proyecto No. C16-FAI-09-46.46, y a la SEP-PFCE 2016 por el apoyo otorgado mediante el proyecto No. P/PFCE-2016-24MSU0011E-21.

## Referencias

- [1] Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.
- [2] J.A.K. Suykens, J. Vandewalle, Generation of n-double scrolls (n= 1, 2, 3, 4,), *IEEE Trans. Circuits Syst. I* 40 (11), 861867, (1993).
- [3] D. Cafagna, G. Grassi, New 3d-Scroll attractors in hyperchaotic Chua's circuits forming a ring, *Int. J. Bifurcation Chaos* 13 (10), 28892903, (2003).
- [4] L.J. Ontañón-García, E. Jiménez-López, E. Campos-Cantón, M. Basin, A family of hyperchaotic multi-scroll attractors in  $R^n$ . *Applied Mathematics and Computation*, 233, 522-533.
- [5] García-Martínez, M., Ontañón-García, L. J., Campos-Cantón, E., & Čelikovský, S. (2015). Hyperchaotic encryption based on multi-scroll piecewise linear systems. *Applied Mathematics and Computation*, 270, 413-424.
- [6] L.M. Pecora y T.L. Carroll, Synchronization in chaotic systems. *Physical review letters*, 64(8), 821, (1990).
- [7] K. Pyragas, Continuous control of chaos by self-controlling feedback. *Physics Letters A*, 170(6), 421-428, (1992).
- [8] Suh J., Lee Y., Lee K., "Object-transportation control of cooperative AGV systems based on virtual-passivity decentralized control algorithm", *Journal of Mechanical Science and Technology* 1720–1730, 19 (2005).

- [9] Palacin J., Salse J., Valganon I, Clua X, “Building a mobile robot for a floor-cleaning operation in domestic environments”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 53, 1418–1424, 2004.
- [10] Nakamura, Y., & Sekiguchi, A. “The chaotic mobile robot. IEEE Transactions on Robotics and Automation”, 17(6), 898-904, 2001.

# Cap.3 Seguimiento de Trayectorias Utilizando el Robot Lego Mindstorm EV3 y Matlab

González Del Río, J.D., Martínez López, M., Ontañón-García, L.J.

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP,  
Carretera Salinas-Santo Domingo No.200, C.P. 78600,  
Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, MÉXICO.  
luis.ontanon@uaslp.mx

## Resumen

*Se presenta el desarrollo de una serie de algoritmos de programación para automatizar y manipular el robot LEGO Mindstorm EV3 el cual ha sido adaptado como un instrumento de prueba. Con el objetivo principal de seguir trayectorias, medir ángulos, trazar figuras geométricas y aplicar el uso de conversión de coordenadas rectangulares a polares, representando e implementando las trayectorias en un plano cartesiano. Esto con la finalidad de visualizar como el robot se mueve, gira y toma decisiones para que cumpla con su labor previamente definida para algún fin práctico que sea necesario. Esta tarea se desarrolló con la ayuda del lenguaje matemático MATLAB el cual contiene una librería especializada para comunicarse con LEGO Mindstorm EV3 y así poder crear una serie de instrucciones para llevar a cabo cada una de las rutinas. Por lo tanto en esta investigación el robot podrá realizar múltiples acciones en forma independiente.*

**Palabras clave:** LEGO Mindstorm EV3, Seguimiento de trayectorias, MATLAB.

## 1. Introducción

EV3 es la tercera generación de robots LEGO Mindstorm los cuales combinan la versatilidad de construcción LEGO con tecnología electrónica avanzada para liberar el potencial creativo y ofrecer la posibilidad de construir y controlar robots que sean capaces de caminar, hablar, pensar y ejecutar todo lo que se pueda imaginar el usuario [1].

Mediante conocimientos de programación empleados en el uso del lenguaje matemático MATLAB, se planeó ejecutar la manipulación y control de robots LEGO con el uso de un paquete de compatibilidad llamado "Toolbox" el cuál nos brinda funciones que proporcionan el control de servomotores, la interfaz con los sensores y la interacción con el Brick (cerebro o microcontrolador del EV3). La comunicación entre el robot y la computadora se logra a través de un cable USB, banda ancha inalámbrica o conexión Bluetooth. La intención es crear código que el robot pueda ejecutar y así lograr desarrollar diversas rutinas y desafíos en los cuales el EV3 sea capaz de trazar ángulos, figuras geométricas e interpretar coordenadas polares en un plano cartesiano.

## 2. Marco Teórico

El bloque EV3 cuenta con dispositivos avanzados tales como: sensores y actuadores, los cuales sirven para realizar múltiples acciones cada uno de ellos con características distintas. El componente más importante es el controlador Brick, el cual actúa como centro de control y fuente de poder, cuenta con puertos de entrada y salida RJ12 que sirven para conectar distintos tipos de sensores y servomotores, un puerto host USB para establecer conexión con el ordenador, un puerto para tarjeta SD, un receptor de señales infrarrojas, bluetooth y WiFi, además de un altavoz. El kit incluye 541 piezas para crear la estructura del robot, sensor de luz/color, ultrasónico, giroscópico y de tacto, también se incluyen 3 servomotores de dos tamaños. Para dar instrucciones al robot se usa el lenguaje matemático MATLAB, el cual se basa en un entorno de computación y desarrollo de programas donde se implementan cálculos matemáticos y la visualización de gráficos. Cuenta con un amplio abanico de



**Figura 1. Set de piezas, Brick, sensores, servomotores, conectores de LEGO MINDSTORM EV3.**

programas de apoyo especializados denominados toolbox, que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal y cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación. Este entorno nos sirvió para desarrollar vectores, conversión de coordenadas rectangulares a polares y cálculo de ángulos.

### **3. Metodología**

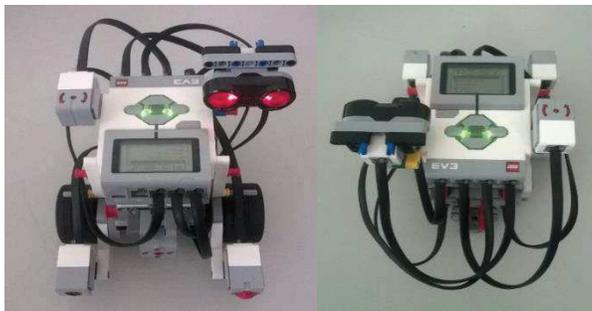
En primera instancia se inició conociendo cada uno de los componentes del set de LEGO EV3, sus piezas, sensores, servomotores y conectores, entre otras cosas como manuales para fabricar la estructura del robot y guías de usuario tal y como se muestran en la Figura 1.

Los primeros pasos a desarrollar consistieron en la construcción del modelo básico de LEGO EV3, como se muestra en la Figura 2, y en la instalación de MATLAB en su versión de prueba para estudiantes con su respectivo toolbox para interactuar con el robot. La conexión fue mediante el cable USB. Llevándose a cabo el enlace de LEGO con el programa MATLAB, este responderá con un mensaje en su consola mostrando la información general del robot y los sensores disponibles conectados [2].

Después se comenzaron a desarrollar las diferentes partes de la investigación donde el EV3 ejecutará y realizará rutinas para así cumplir con sus tareas, implementando los sensores y servomotores. Algunas de las partes elaboradas son las siguientes.

#### **3.1 Medición de grados.**

Esta parte de la investigación consistió en hacer que el robot mediante el sensor giroscopio y los servomotores realice distintas mediciones de ángulos tomando en cuenta los más comunes que son  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $360^\circ$ . Se creó un algoritmo el cual al agregarle cierto ángulo dentro de un condicional hará que el robot gire con un servomotor en sentido directo o contrario de las manecillas del reloj hasta que detecte la aproximación del ángulo asignado y así detenerse. Esta misma rutina se ejecutó para todos los ángulos. Al concluir dichos trazos de los grados, se procedió a realizar la medición con un transportador para verificar la exactitud.



**Figura 2. Modelo construido de LEGO Mindstorm EV3.**

### **3.2 Trazo de figuras geométricas.**

Esta parte de la investigación consistió en realizar un programa en el cual el robot sea capaz de dibujar 4 figuras geométricas (cuadrado, rectángulo, triángulo y pentágono) mediante el uso del sensor giroscopio y los servomotores.

En la Tabla 1 se muestran los ángulos internos y externos de las figuras geométricas además del número de vueltas de los servomotores en grados y su equivalencia en centímetros por lado tomando en cuenta que 1 vuelta = 360° equivale a 17.5cm, en los cuales nos basamos para realizar las trayectorias de cada una de ellas.

**Tabla 1. Figuras geométricas, sus ángulos internos, externos y número de vueltas en grados con su respectiva equivalencia en centímetros.**

<b>Figuras Geométricas</b>	<b>Ángulos</b>	<b>Numero de vueltas del motor en grados</b>	<b>Distancia en cm</b>
<i>Cuadrado</i>	<i>90° interno</i>	<i>700 por lado</i>	<i>34.02cm</i>
<i>Rectángulo</i>	<i>90° interno</i>	<i>800 base y 1000 altura</i>	<i>38.88cm base y 48.61cm altura</i>
<i>Triángulo Equilátero</i>	<i>120° externo</i>	<i>1000 por lado</i>	<i>48.61cm</i>
<i>Pentágono</i>	<i>72° externo</i>	<i>600 por lado</i>	<i>29.02cm</i>

Para poder realizar los trazos, se le colocó un lápiz al robot en medio de los dos servomotores para que así pudiera dibujar sobre una superficie plana. Se inició definiendo una velocidad del 25% del total de impulso que se puede aplicar a los servomotores. De manera que avanzarán en sentido recto y así hacer que el robot siga una trayectoria que simule la forma de la figura geométrica.

Para realizar el trazo se necesitan dos tipos de movimiento. El primero es una línea recta y el segundo corresponde a un giro que será medido mediante el sensor giroscopio y que al cumplirse se detendrá un momento y parará el movimiento de rotación del robot para continuar después con el siguiente movimiento lineal. La idea es que el robot siga una serie de trayectorias y una distancia equivalente al número de vueltas en centímetros de los servomotores y al término de la línea se implemente un giro correspondiente al ángulo interno o externo dependiendo de la figura y así hasta concluir con todos sus lados. De esta manera las figuras serán aproximadas tanto como lo permita la precisión de los giros del dispositivo.

### **3.3 Seguimiento de trayectorias mediante coordenadas polares y rectangulares.**

Esta parte de la investigación consistió en definir puntos o coordenadas cartesianas que sirvan como base de movimiento para el EV3 utilizando el sensor giroscopio y los servomotores. Para llevar a cabo esta acción fue necesario utilizar la conversión de coordenadas rectangulares a polares para que se pueda implementar de manera más fácil y natural un movimiento en el robot [4,5]. Se comenzó definiendo una matriz de coordenadas que está compuesta por dos vectores en MATLAB  $V_{(x,y)} = [0, 30, 60, 75; 0, 30, 30, 60]$ , el cual se graficó como una serie de puntos en un plano cartesiano, en donde las entradas del primer renglón corresponden a los valores que toma x, y las entradas del segundo renglón corresponden a los valores de y. La tarea del LEGO EV3 consistió en seguir la

trayectoria de dichas líneas hasta llegar al último punto. Se inició convirtiendo las coordenadas rectangulares  $(x, y)$  a polares  $(r, \theta)$  mediante las siguientes conversiones (1) y (2).



Figura 3 (a). Trayectoria del CASO 1,  $\theta_1 > \theta_2$ , giro en sentido de las manecillas del reloj. (b). Trayectoria del CASO 2,  $\theta_1 < \theta_2$ , giro opuesto al sentido de las manecillas del reloj.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (1)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right). \quad (2)$$

En donde  $r$  es la distancia y  $\alpha$  el valor del ángulo. Y así poder expresarlas más útilmente en un plano cartesiano.

La matriz de coordenadas que se utilizará como trayectoria está dada por  $V_{((x,y))}$ , la cual convertida en coordenadas polares resulta en  $V_{(r,\theta)} = [0, 42.42, 67.08, 96.04; 0^\circ, 45^\circ, 26.56^\circ, 38.65^\circ]$  en donde las entradas del primer renglón corresponden a los valores que toma  $r$ , y las entradas del segundo renglón corresponden a los valores de  $\theta$ . El robot se encuentra posicionado en un inicio partiendo desde la primera coordenada  $(r_1, \theta_1) = (0, 0^\circ)$  y apuntando hacia la dirección del vector unitario  $i$ . De manera que esté comience a girar en el sentido opuesto a las manecillas del reloj dependiendo del valor del ángulo del siguiente punto marcado como  $(r_2, \theta_2) = (42.42, 45^\circ)$  el cuál es medido por el sensor giroscopio. Luego recorrerá la distancia hacia el segundo punto  $r_2$ , que corresponde a la distancia entre dos puntos consecutivos de la trayectoria a realizar.

Debido a la ubicación de los puntos en el plano, se definieron tres tipos de trayectorias en las cuales el robot girará hacia un ángulo negativo o positivo dependiendo de los valores que tomen  $\theta_1$  y  $\theta_2$ . Esto se explica a continuación en los posibles tres casos que consideran:

**Caso 1.** En el primer caso, si  $\theta_1 > \theta_2$ , se girará en sentido de las manecillas del reloj y se calculará el siguiente ángulo de giro del robot que se determina como  $\rho$ . Este ángulo puede ser apreciado en la Figura 3(a) y se obtiene a partir de:

$$\rho = 180 - \alpha; \quad (3)$$

en donde  $\alpha$  corresponde al ángulo del vértice correspondiente a  $(r_1, \theta_1)$ . Para obtener el valor de este ángulo, se utiliza la ley de senos utilizando los valores de las distancias  $r_1$ ,  $r_2$  y  $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ , con  $x_{1,2}$  y  $y_{1,2}$  correspondientes a las coordenadas de la matriz  $V_{(x,y)}$  en rectangulares. Así se calculará el ángulo interno llamado  $\alpha$  que toma la siguiente forma:

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{r_2 \sin(\phi)}{d}\right) \quad (4)$$

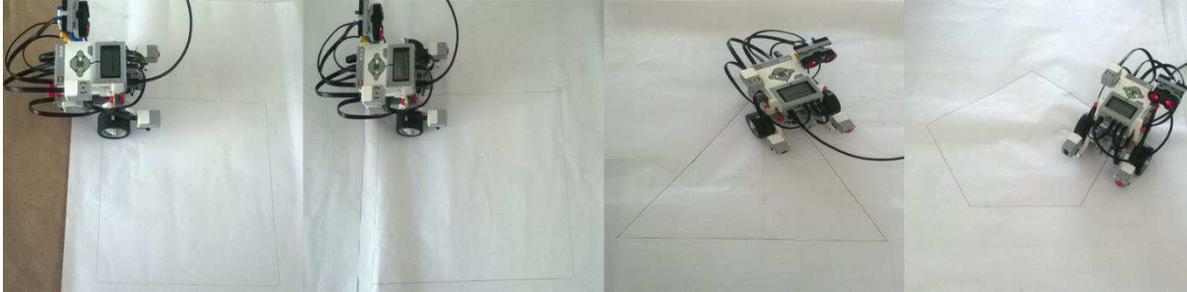
**Caso 2.** En el segundo caso, si  $\theta_1 < \theta_2$ , se girará en sentido contrario a las manecillas del reloj y se calculará el ángulo de giro  $\rho$  que se obtiene a partir de las mismas ecuaciones (3) y (4).

**Caso 3.** En el tercer caso, si  $\theta_1 = \theta_2$ , no se realiza ningún giro y se continúa el desplazamiento en la misma dirección y sentido.

#### 4. Resultados Y Discusión

Cada uno de los programas elaborados en esta investigación fue planteado, analizado, estructurado y puesto en práctica mediante MATLAB y el kit de LEGO Mindstorm EV3. Se realizó la interacción entre LEGO Mindstorm EV3 y MATLAB mediante un toolbox, para desarrollar las diversas prácticas en las cuales se implementaron conocimientos básicos de programación y matemáticas. Se

conoció la función de cada componente del kit de LEGO EV3 como los sensores y servomotores e implementarlos en diversas prácticas. A diferencia de cada parte de la investigación que se desarrolló para el robot, se crearon nuevos retos aplicando métodos matemáticos y algebraicos para la realización



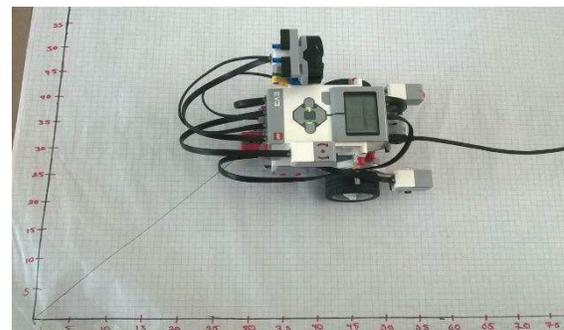
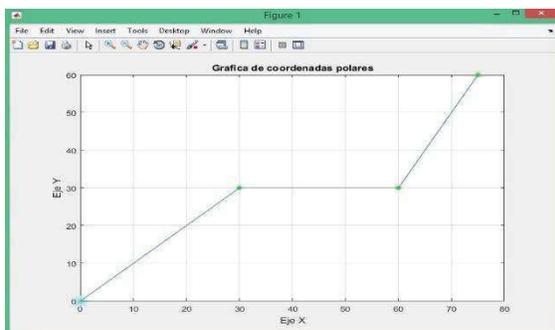
**Figura 4. Resultado del trazado de figuras geométricas (cuadrado, rectángulo, triángulo y pentágono) elaboradas mediante el robot LEGO Mindstorm EV3.**

de figuras geométricas y la implementación de coordenadas polares. En la Figura 4 se muestran los resultados capturados mediante imagen del trazado de las figuras las cuales el robot dibujo. Estas figuras no son completamente precisas debido a que la medición que el giroscopio presenta tiene un error de  $\pm 3^\circ$ . De acuerdo a lo que se establece en el manual descrito en [1].

Y en las Figuras 5(a) y 5(b) se muestra la gráfica de coordenadas de la matriz  $V_{(x,y)}$  obtenida en MATLAB y el seguimiento de la trayectoria del robot de forma experimental mostrando el desplazamiento de  $(x_1, y_1)$  a  $(x_2, y_2)$ .

## 5. Conclusiones

Al término de esta investigación concluimos que el robot LEGO Mindstorm EV3 es una herramienta que permite ser programada para trazar trayectorias previamente definidas. Y que a pesar de su facilidad de aplicación y armado, es muy impreciso debido a sus partes plásticas, además de la comunicación entre LEGO EV3 y la computadora que es lenta al momento de ejecutar los programas. Debido al tiempo del periodo de verano no fue posible implementar los Casos de desplazamiento, lo cual se realizará como trabajo a futuro.



**Figura 5 (a). Graficación de coordenadas polares en el eje x y eje y. (b). Seguimiento de trayectoria del robot mediante las coordenadas polares.**

## Referencias

- [1] Lego.com. (2016). Inicio - Mindstorms LEGO.com. [online] Available at: <http://www.lego.com/es-ar/mindstorms> [Accesado 15 Jun. 2016].
- [2] Es.mathworks.com. (2016). Getting Started with LEGO® MINDSTORMS® EV3™ Hardware - MATLAB & Simulink Example. [online] Available [Accesado 15 Jun. 2016].

- [3] MOORE, H., CAMPOS OLGUÍN, V. Y CRUZ CASTILLO, L. M. (2007). MATLAB para ingenieros. México: Pearson Educación.
- [4] Zaldívar D., Cuevas E, y Pérez M. *“Proyectos con robots LEGO”*, Editorial RA-MA, 1ra Ed. Colombia, 2015.
- [5] Vázquez A, Ramos F., Fernández R., Payo I., Adán A., *“Robótica educativa”*, Editorial RA-MA, 1ra Ed. Colombia, 2015.

# Cap.4 Determinación de la Eficiencia Inhibidora de La Corrosión del Extracto Acuoso de Hojas de Guanábana (*Annona Muricata*) en Sensores de Cobre

J.C Chávez-Barrera<sup>2</sup>, F. Corvo<sup>1</sup>, J.R Brito<sup>2</sup>, V. Moo<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Corrosión-Universidad Autónoma de Campeche. Av. Héroe de Nacozari 480. Campus 6 de Investigaciones. San Francisco de Campeche. Campeche. C.P: 24070.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Químico Biológicas-Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar. Campus 1. San Francisco de Campeche. Campeche. C.P: 24039.

## Resumen

*En muchos procesos de limpieza de metales en la industria se usan ácidos, y para controlar la corrosión de los mismos se agregan inhibidores de corrosión. Tradicionalmente muchas de estas sustancias, son aminas terciarias o aromáticas que pueden afectar la salud y al ambiente. En la actualidad se está desarrollando ampliamente la temática de inhibidores de corrosión obtenidos a partir de fuentes naturales.*

*Con un análisis preliminar por la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) se probaron sensores de cobre con electrodos idéntico elaborados por serigrafía, inmerso en HCl 0.1 M con adición de extracto acuoso, alcohólico y oleoso de las hojas de guanábana (*Annona muricata*) donde fue notable el potencial inhibidor de la corrosión del cobre del extracto acuoso de *Annona muricata*. Nuevamente mediante EIS se probaron los sensores de cobre inmerso en HCl 0.1 M con adición de volúmenes crecientes del extracto acuoso de las hojas de *A. Muricata*. Los resultados se representan en un diagrama de Nyquist y a través de un circuito equivalente se obtuvieron los parámetros que permitieron determinar que 50  $\mu$ l de un extracto acuso de las hojas de guanábana inhibe más del 95% de la corrosión del cobre en el sistema estudiado.*

**Palabras clave:** Inhibidores de corrosión, extractos de plantas, corrosión del cobre.

## 1. Introducción

La mayoría de los inhibidores sintéticos pueden ser demasiado costosos y peligrosos para los seres vivos y el medio ambiente debido a su alta toxicidad [1, 2]. Las legislaciones ambientales, como la ley de control de sustancias tóxicas de la agencia de protección del ambiente (EPA), generan la necesidad de desarrollar inhibidores de corrosión ambientalmente amigables. Debido a esta razón se ha sugerido el uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión.

La mayoría de los inhibidores naturales son biodegradables y son abundantes en la naturaleza. Hasta el momento, ya se han utilizado extractos a partir de semillas, frutas, hojas, flores, etc. [1,2] y se ha encontrado que reducen notablemente la velocidad de corrosión.

Las fuentes naturales reportadas con potencial inhibidor de la corrosión poseen propiedades nutricionales, principalmente debido a su actividad antioxidante en sistemas biológicos. Los extractos

a partir de las hojas de guanábana presentan propiedades antioxidantes y se le atribuye a su contenido de flavonoides y fenoles [2, 4].

La acción inhibitoria de estos compuestos se suele atribuir a su adsorción sobre la superficie del metal. La mayoría de estos compuestos contienen nitrógeno, azufre y oxígeno con un par solitario de electrones y adicionalmente poseen sistemas aromáticos [5]. Se cree que en los sitios donde se localizan estos átomos es donde ocurre la adsorción, mediante el bloqueo de los sitios activos, pueden reducir la velocidad de corrosión [6,7,8].

La espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) es una poderosa herramienta que se emplea en la determinación de cinéticas de corrosión. Se basa en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que es aplicada a un electrodo y determina la respuesta correspondiente [9]. Para realizar las mediciones de EIS elaboramos y proponemos el uso de sensores de cobre con electrodos idéntico. En aplicaciones industriales es difícil el mantenimiento de los electrodos de referencia, se utilizan a menudo tres electrodos idénticos. El potencial del electrodo metálico que sirve como electrodo de referencia no cambia durante el período de las mediciones de resistencia de polarización.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Extractos De Las Hojas De Guanábana

Los extractos, se obtiene por maceración estática de las hojas, para cada extracto se empleó lo siguiente:

- Acuoso: agua destilada.
- Alcohólico: etanol al 96%
- Oleoso: aceite de olivo extra virgen



Fig. 1. Extracto acuoso de hojas de guanábana

### 2.2. Elaboración sensores de cobre mediante serigrafía

El diseño del sensor de cobre con electrodos idénticos, tiene tres líneas de cobre, que funcionan como RE (electrodo de referencia) ce (contra electrodo) WE (electrodo de trabajo) y Earth (tierra) fueron realizados en el programa PCB WIZARD. Utilizando baquelita de base y el papel cauqué con el diseño impreso, y fijado mediante calor a 350°C. Posteriormente la baquelita fue sumergida en una solución de cloruro férrico al 40% para disolver las partes de la baquelita donde no se había adherido la tinta. Se soldaron cables de cobre en los terminales para su posterior conexión al equipo de análisis.

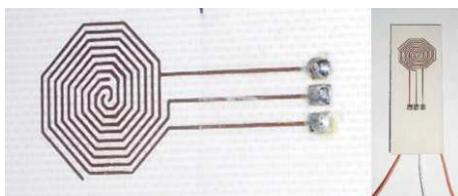


Fig. 2. Sensor de cobre

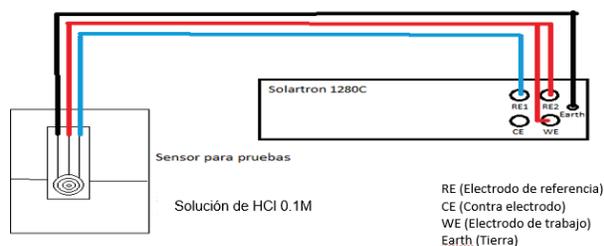


Fig. 3. Conexión de sensores de cobre al equipo de EIS

## 2.1. Análisis preliminar mediante EIS de los sensores de cobre con los extractos acuoso, alcohólico y oleico de las hojas de *A. Muricata* y un blanco.

Se conectó el sensor de cobre al equipo de EIS (fig. 3), posteriormente se sumergió en 60 ml de HCl 0.1 M, se añadieron algunas gotas del extracto acuoso, bajo las mismas condiciones de realización del análisis para el extracto alcohólico y oleoso. Con el diagrama Nyquist correspondiente fue notable que el extracto acuoso presentó un comportamiento más favorable contra la corrosión del sistema de cobre estudiado respecto al resto de los extractos.

## 2.2. Determinación de la eficiencia inhibidora de la corrosión del extracto acuoso de hojas de *A. Muricata* en sensores de cobre.

Se probaron los sensores de cobre elaborados por serigrafía, inmerso en HCl 0.1 M con y sin adición del extracto acuoso de las hojas de *A. muricata*. Los resultados se representan en un diagrama de Nyquist, a través de un circuito equivalente se obtuvieron los parámetros que permitieron determinar la eficiencia al añadir 10 µl, 50 µl, 150 µl y 200 µl del extracto acuoso de *Anona muricata*. La eficiencia del inhibidor puede ser calculada de acuerdo a [10].:

$$\eta(\%) = \frac{R_p - R_p^0}{R_p} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $R_p^0$  y  $R_p$  es la resistencia a la polarización en la solución en ausencia y presencia de inhibidor, respectivamente.

## 3. Resultados y Discusión

En la figura 4 se muestran los espectros de impedancia del análisis preliminar por cada extracto (acuoso, alcohólico y oleico), añadiendo un mismo volumen y un blanco. Es notable que el extracto acuoso presenta mayor resistencia a la corrosión en comparación con el resto de los extractos. Estos resultados nos permitieron fijar la siguiente etapa de nuestra investigación, que consistió en probar los sensores de cobre elaborados por serigrafía, inmerso en HCl 0.1 M con adición de volúmenes crecientes del extracto acuoso de las hojas de *A. muricata* a través de un análisis de EIS.

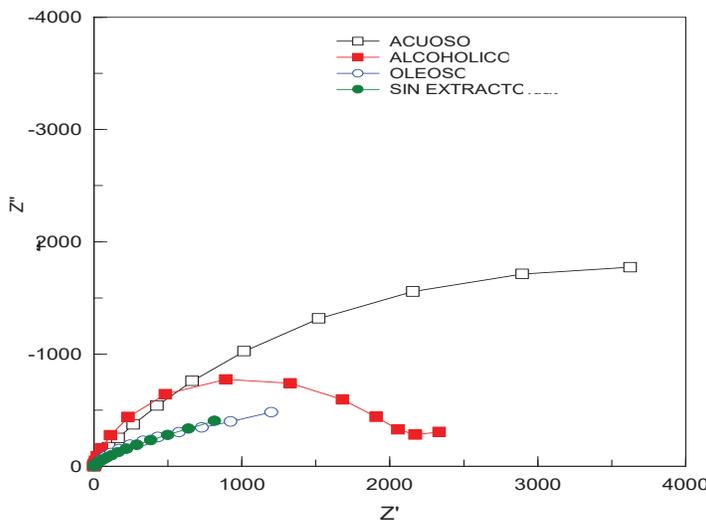


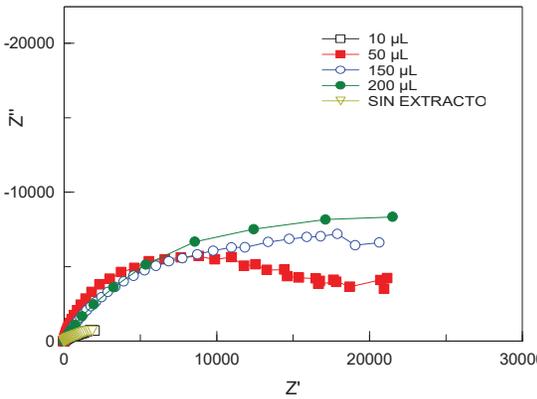
Figura 4. Espectros de Impedancia para sensores de cobre en HCl 0.1 M con adición de un mismo volumen de extracto acuoso, alcohólico y oleoso de las hojas de *Anona muricata*.

Tabla 1. Parámetros obtenidos al ajustar los datos correspondientes a los espectros del sensor de cobre.

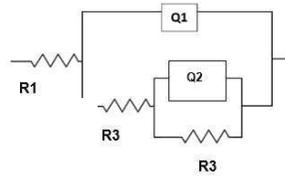
Extracto	$R_p \Omega cm^2$
Sin Extracto	2.361
Acuoso	5,380
Alcohólico	2,632
Oleoso	0.4149

Se determinó la eficiencia en función del volumen del extracto acuoso añadido al medio ácido para el sensor de cobre estudiado. Los resultados de impedancia se representan en un diagrama de Nyquist. Los espectros fueron ajustados al circuito equivalente con extracto de guanabana (figura 6) . Donde R1 es la resistencia de la solución, R2 es resistencia a la polarización (inverso de la velocidad de corrosión) y R3 es la resistencia del inhibidor al adsorberse en la doble capa electroquímica.

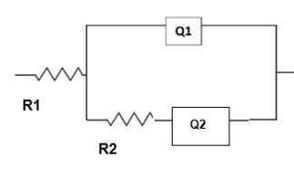
Los diagramas de nyquist obtenidos sin inhibidor (blanco) y con la adición de 50 µl de inhibidor muestran un semicírculo. Se debe principalmente a la transferencia de carga y capacitancia de doble capa [11]. A una concentración de 50 µl puede observarse que se generan valores de eficiencia favorables (tabla 2), con poca diferencia con el aumento de la concentración, pero tiende a ser constante. Las moléculas del extracto acuoso debido a su estructura tienden a adsorberse sobre la superficie metálica formando mono o multicapas, que sirven de barrera al cobre protegiéndolo de la corrosión en el medio ácido.



**Fig. 5. Espectros de impedancia electroquímica en diagramas de Nyquist en función del volumen del extracto acuoso de hojas de guanábana en 60 ml HCl 0.1m.**



**Fig. 4 circuito equivalente con extracto hojas de A. muricata.**



**Fig. 4 circuito equivalente sin extracto.**

Extracto acuoso hojas de A. Muricata	Sin Extracto	10 µl	50 µl	150 µl	200 µl
Rp (Ω Cm <sup>2</sup> )	2.361	0.485	12,210	159	402
H %	-----	-----	99.98	98.51	99.41

**Tab. 2. Eficiencias del extracto acuoso de las hojas de A. muricata como inhibidor de la corrosión en sensores de cobre.**

## 4. Conclusión

Se determinó que 50 µl de un extracto acuoso de hojas de guanábana puede inhibir más del 95% de la corrosión del cobre. Probamos el efecto de un extracto y comprobamos que en los flavonoides o fenoles pueden estar los sitios donde se localizan los electrones para que ocurra la adsorción al metal, que ocasiona el bloqueo de los sitios activos, y que funciona como inhibidor de la corrosión del cobre. Aunado a esto, se pudo comprobar la utilidad de los sensores de cobre con electrodos idénticos hechos mediante serigrafía en los estudios de corrosión.

## Bibliografía

1. Raja, P., Sethuraman, M. *Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media. mater lett.*, 62: 113–11. (2008).
2. Abdullah, D. (2011). A review: *plant extracts and oils as corrosion inhibitors in aggressive media*. *Industrial Lubrication and Tribology*, 63 (4) 227–233.
3. Pérez-Pérez, Elizabeth Mariana., *Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana Annona muricata* [fecha de consulta: 30 de marzo de 2017] disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33930879008>> issn 0378-1844.
4. Barahona C. *Evaluación de la actividad antioxidante y valor nutracéutico de las hojas y frutos de la guanábana (Annona muricata)* (Tesis de licenciatura). Escuela superior politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador, 2013.
5. Popova, A., Christov, M. *evaluation of impedance measurements on mild steel corrosion in acid media in the presence of heterocyclic compounds. corros. SCI.*, 48: 3208-21. 2006.
6. Ebenso, E. *Corrosion inhibition and adsorption properties of ethanol extract of gongronema latifolium on mild steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. pigment and resin technology*, 39(2): 77–83. 2010.
7. Achary, G., Sachin, H.P., Arthoba Naik, Y. y Vankatesha, T.V. *The corrosion inhibition of mild steel by 3-formyl-8-hydroxy quinoline in hydrochloric acid medium. materials chemistry and physics*, 107: 44-50. 2008.
8. Oguzie, E., Onuoha, G., Onuchukwu, A. *inhibitory mechanism of mild steel corrosion in 2m sulphuric acid solution by methylene blue dye. Mater. Chem. Phys.*, 89: 305-11, 2004.
9. González J, Morcillo M, escudero e, lópez v, otero e. *atmospheric corrosion of bare and anodized aluminium in a wide range of environmental conditions. part i: visual observations and gravimetric results. surface & coatings technology*. 153: 225–234. 2002.
10. Chahla R. *Olive leaf extract as natural corrosion inhibitor for pure copper in 0.5 m nacl solution: a study by voltammetry around OCP*. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 769 53–61.2016
11. H. Hassaira, L. Boussemml, S. KhosroF, E. Triki, *evaluation of the inhibitive effect of benzotriazole on archeological bronze in acidic medium, Appl. Phys.* 113 923–931. 2013.

## **Cap. 5 Análisis del impacto ambiental y socioeconómico por la contaminación de Cobalto-60 generado por la empresa Ex Aceros de Chihuahua S.A. de C.V.**

Bustillos Camacho Leina Elizabeth, Leyva Chávez Arwell Nathán, Valles Aragón María Cecilia, García Muñoz Silvia Amanda, González Aldana Ricardo Aarón

Universidad Autónoma de Chihuahua  
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

### **Resumen**

*La siguiente investigación se realizó para identificar los problemas socioeconómicos que presentan los habitantes de las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja, en las cuales se situaba la empresa Aceros de Chihuahua S.A. de C.V. que laboró desde el año 1955 hasta 1984 dedicada a la fundición de metales como el acero.*

*Las actividades que desarrollaba esta empresa provocaron que el suelo del lugar donde se encontraba establecida quedara contaminado por Cobalto-60.*

*Se encuestó a los habitantes de ambas colonias y se realizó un recorrido por el sitio donde ya solo están los escombros y residuos que han arrojado las personas usando como basurero el lugar.*

*Mediante el análisis de los resultados se identificaron las enfermedades que provocan el Cobalto-60 en los habitantes y el tiempo que han padecido dichas enfermedad, siendo los problemas de visión la enfermedad que más padecen los habitantes. Así mismo se identificó de qué forma afectó económicamente a las personas que trabajaron en la empresa Aceros de Chihuahua S.A. de C.V.*

*Se concluye después de realizar las regresiones lineales simples, que el tiempo que llevan padeciendo las enfermedades no tiene relación con el tiempo habitando la vivienda, solo en el caso de problemas de visión si existió relación entre las variables. Por lo que en el padecimiento de las enfermedades también actúan otros factores que no se tomaron en cuenta para la investigación.*

*Se realizan recomendaciones para el manejo de los residuos sólidos de manejo especial que se encuentran en esta zona y sobre la limpieza del lugar, así como recomendaciones para futuras investigaciones referentes al tema.*

### **1. Introducción**

El Cobalto 60 emite una radiación con más energía que la que emite el radio y es más barato que este. El Cobalto 60 se desintegra emitiendo partículas beta y rayos gamma y tiene una vida media de 5.27 años [1].

El especialista en Materiales Peligrosos de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM) Benjamín Ruiz, dijo que en caso de que se llegue a tener contacto con el Cobalto-60, se

experimentarán: mareos, náuseas, sensación de debilidad. Efectos por la exposición al Cobalto-60: irritación de ojos, nariz y garganta, si se inhala provoca ataques asmáticos, si se entra en contacto provoca salpullido, provoca graves problemas en corazón, hígado y riñón. El especialista semana que si el tiempo de exposición es muy prolongado, podría provocar diversos tipos de cáncer y hasta la muerte. El Cobalto 60 contamina el suelo y las plantas, provocando daño en el medio ambiente [2].

Un suelo contaminado es aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para uno o varias sustancias, y como consecuencia, para de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmosfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo [3].

La empresa Aceros de Chihuahua se dedicaba a fabricar varillas para construcciones. El daño de la contaminación a la que se expuso la comunidad con la cápsula de Cobalto-60 puede tardar en manifestarse 10, 15, 20 o hasta 25 años, de acuerdo al grado de exposición que tuvo cada persona”, dijo Agustín Horcasitas Cano, el ex gerente de producción en Aceros de Chihuahua, cuando presentó su libro “El gran engaño”, en el que vertió su hipótesis sobre el accidente, el 3 de noviembre de 1999 [4].

## 2. Metodología

Con información del INEGI y delimitando la zona de estudio, se obtuvieron un total de 408 viviendas habitadas, las viviendas a encuestar fueron elegidas por el método de muestro aleatorio por conglomerados. Se elaboró una encuesta la cual fue conformada por 16 preguntas (anexo 1) por cada vivienda habitada, de las colonias Nombre de Dios y Villa vieja, se utilizó la fórmula para tamaño de muestras finitas que se muestra a continuación, utilizando un 95% de confianza y un margen de error del 5%.

$$n = \frac{(N) (\sigma)^2 (Z)^2}{(N-1) (e)^2 + (\sigma)^2 (Z)^2} \quad (1)$$

Siendo:  $n$  = el tamaño de la muestra,  $N$  = tamaño de la población,  $\sigma$  = desviación estándar de la población,  $Z$  = nivel de confianza y  $e$  = limite aceptable de error muestral.

$$n = \frac{(408) (0.5)^2 (1.96)^2}{(408-1) (0.05)^2 + (0.5)^2 (1.96)^2} = 198 \text{ encuestas por vivienda habitada} \quad (2)$$

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante graficas de pastel, histogramas y graficas de barras. Así mismo, se elaboró un análisis de regresión lineal y de regresión múltiple con las variables numéricas obtenidas de la encuesta y se realizó un análisis de las variables ordinales y nominales mediante la distribución Ji cuadrada.

### 3. Resultados

#### 3.1 Habitantes por vivienda

1. El número de personas que habitan una vivienda en la zona de estudio, se describe en la Figura 1.

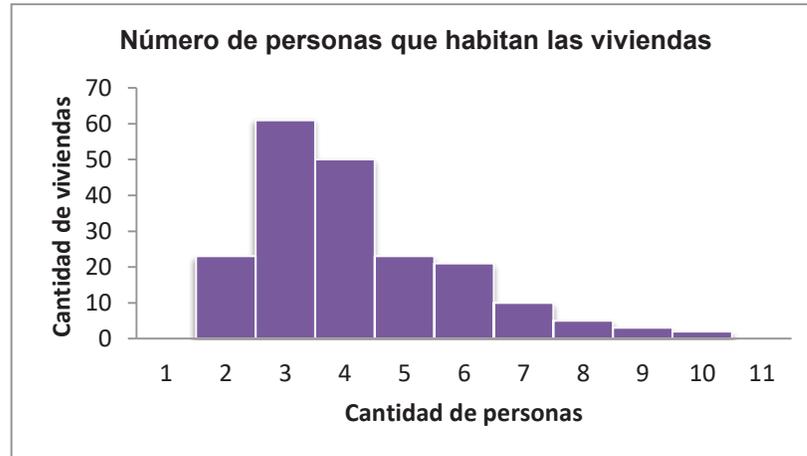


Figura 1. Personas por vivienda en las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja.

De la muestra, un total de 23 viviendas son habitadas solo por una persona, 61 viviendas las habitan 2 personas, 50 viviendas por 3 personas, 23 viviendas 4 personas, 21 viviendas por 5 personas, 10 viviendas por 6 personas, 5 viviendas las habitan 7 personas, 3 viviendas 8 personas y solo 2 viviendas son habitadas por 9 personas.

#### 3.2 Edades de los habitantes

Edades divididas en cohortes de las personas que habitan en las viviendas de la zona de estudio, se describe en la Figura 2.

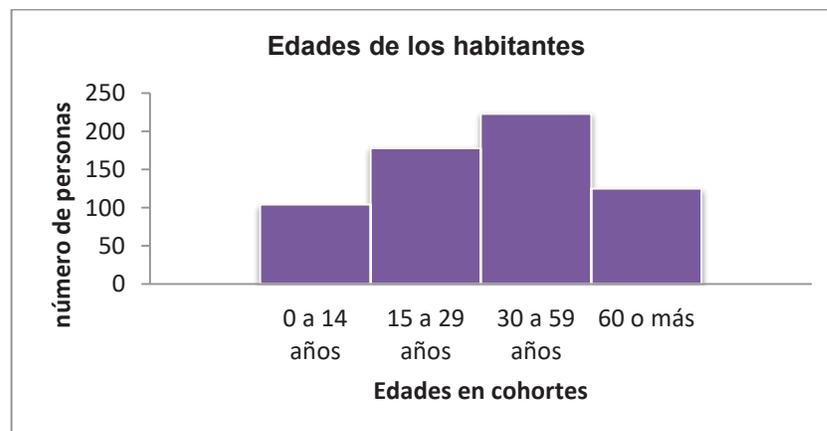


Figura 2. Edades de los habitantes divididas en cohortes.

De la muestra, las edades de 30 a 59 años cuenta con 223 personas siendo la cohorte con mayor población, le siguen las cohortes de 15 a 29 años con 178 personas, 60 o más años con 125 personas y por ultimo de 0 a 14 años con 104 personas.

### 3.3 Tiempo habitando la vivienda

Tiempo de las personas habitando la vivienda ubicada en la zona de estudio, se describe en la Figura 3.

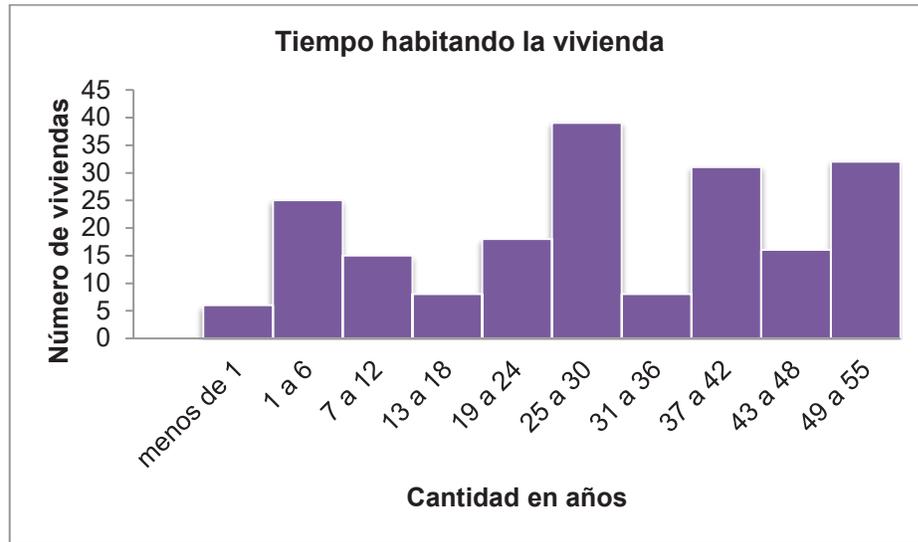


Figura 3. Tiempo habitando la vivienda

De la muestra, 39 personas han habitado de 25 a 30 años, de 49 a 55 años, 32 personas, de 37 a 42 años 31 personas, 25 personas de 1 a 6 años, 16 personas han habitado de 43 a 55 años, 15 personas de 7 a 12 años, 8 personas de 13 a 18 años y 31 a 36 años y por último 6 personas menos de un año.

### 3.4 Habitantes que trabajaron en la empresa Aceros de Chihuahua S.A. de C.V

Porcentaje de habitantes que trabajaron en la empresa Aceros de Chihuahua S.A. de C.V., se describe en la Figura 4.

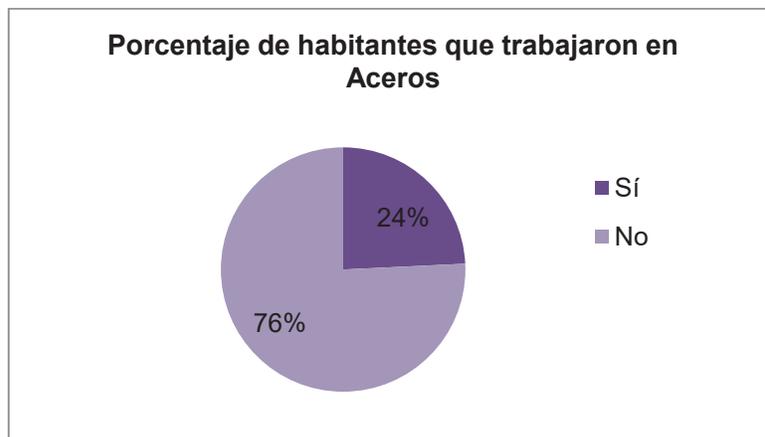
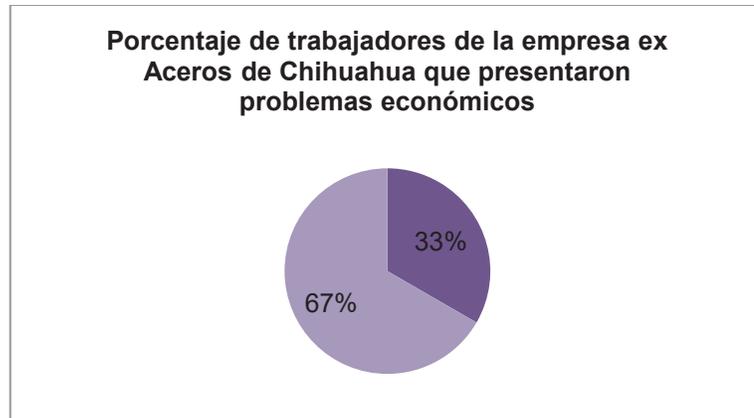


Figura 4. Porcentaje de habitantes que trabajaron en Aceros de Chihuahua S.A de C.V.

De la muestra al menos un 24% de los habitantes trabajo en la empresa Aceros de Chihuahua el 76% no laboró en la empresa.

### **3.5 Trabajadores de la empresa Aceros de Chihuahua S.A. de C.V. que presentaron problemas económicos.**

Porcentaje de trabajadores de empresa Aceros de Chihuahua S.A. de C.V que presentaron problemas económicos, se describe en la Figura 5.

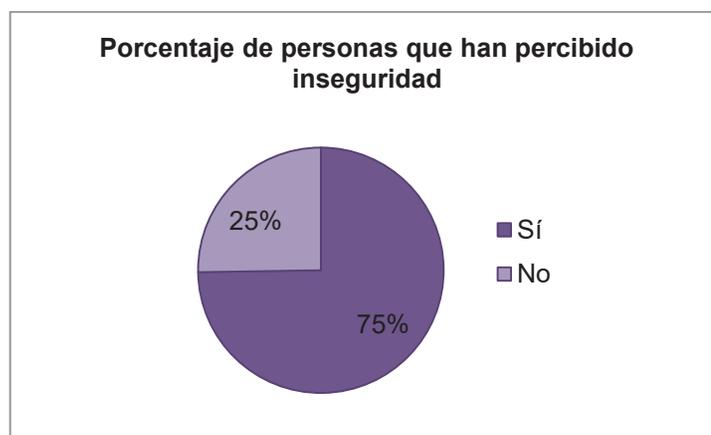


**Figura 5. Porcentaje de trabajadores de Aceros de Chihuahua S.A de C.V. Que presentaron problemas económicos.**

De la muestra 48 personas trabajaron en la empresa Aceros de Chihuahua, de las cuales solo un 33% presento problemas económicos después de que quebrara la empresa.

### **3.6 Personas que perciben inseguridad en la zona de estudio.**

Porcentaje de habitantes que han percibido inseguridad en la zona de estudio, se describe en la Figura 6.



**Figura 6. Porcentaje de personas que perciben inseguridad en las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja.**

De la muestra, un 75% de las personas han percibido problemas de inseguridad después de la quiebra de la empresa y después de que se demolieran las instalaciones donde se encontraba la empresa Aceros de Chihuahua el otro 25% de la población no percibe inseguridad.

### 3.7 Enfermedades que padecen los habitantes

7. Las enfermedades que padecen los habitantes de la zona de estudio se describen en la Figura 7.

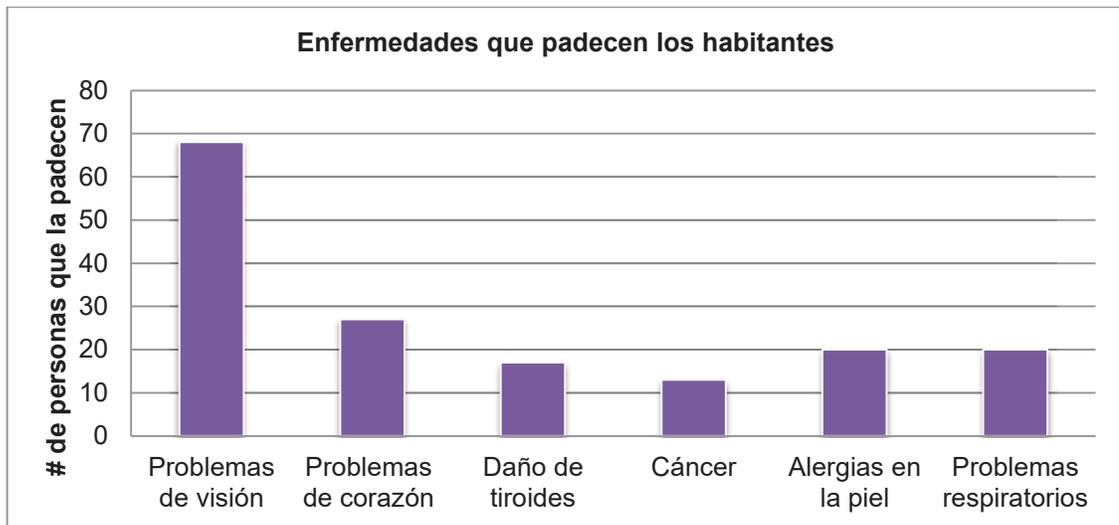
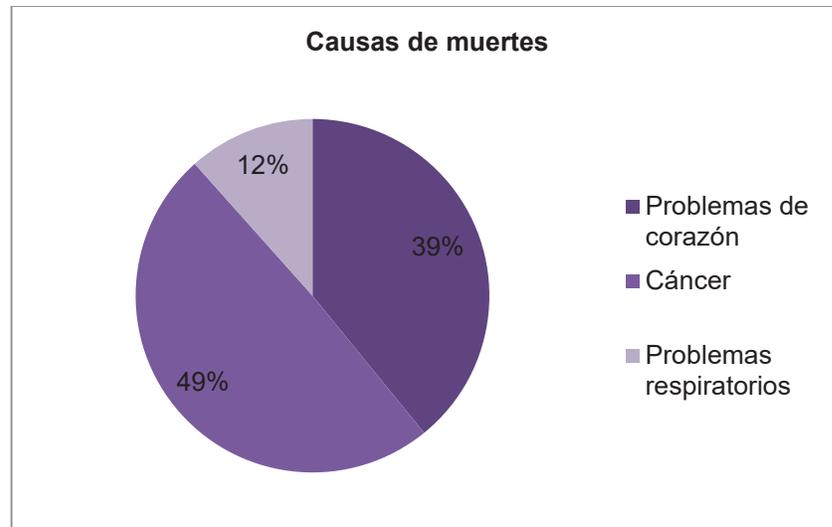


Figura 7. Enfermedades que padecen los habitantes de las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja.

De las enfermedades que provoca la exposición al Co-60, los problemas de visión es el padecimiento más común en los habitantes de ambas colonias (Nombre de Dios y Villa vieja) 68 personas presentan este padecimiento, seguido por problemas de corazón con 27 personas, alergias en la piel con 20 personas, problemas respiratorios con 20 personas, daño de tiroides con 17 personas, y por ultimo cáncer con un total de 13 personas.

### 3.8 Causas de muertes en los habitantes de la zona de estudio.

Porcentaje de las causas de muertes de los habitantes en las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja, se describe en la Figura 8.

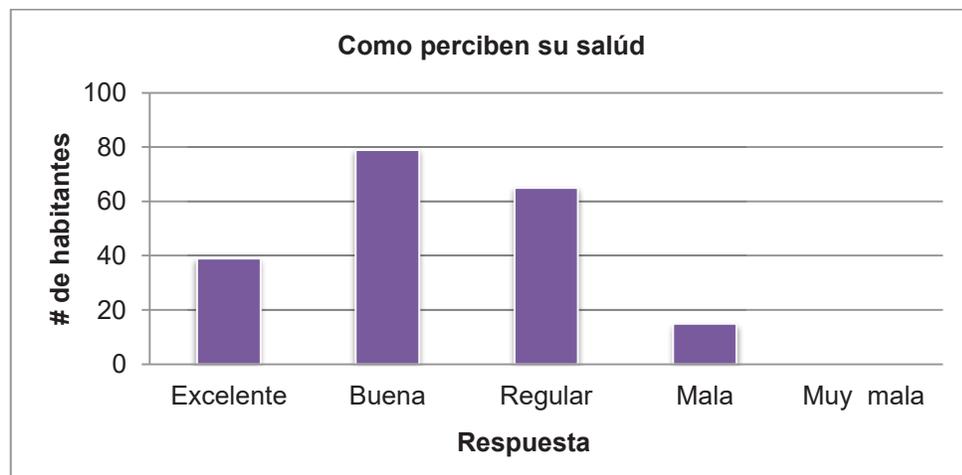


**Figura 8. Causas de muerte en los habitantes de la zona estudio.**

De las enfermedades provocadas por la exposición al Co-60, el cáncer ha sido la mayor causa de muerte entre los habitantes de ambas colonias, un 49% murió por dicha enfermedad, seguido de problemas de corazón con 39% y por último problemas respiratorios con 12%.

### 3.9 Percepción de la salud de los habitantes de la zona de estudio

La opinión de los habitantes de la zona de estudio respecto a cómo perciben su salud, se describe en la Figura 9.



**Figura 9. Percepción sobre la salud de los habitantes en la zona de estudio.**

Los habitantes de las dos colonias en su mayoría perciben su salud como buena con un total de 79 personas, le siguen los habitantes que perciben su salud regular con 65 personas, excelente con 39 personas y por último 0 personas perciben su salud como mala.

### 3.10 *Porcentaje de habitantes que tienen conocimiento de la contaminación*

Porcentaje de habitantes que tienen conocimiento de la contaminación de Cobalto-60 en la zona de estudio, se describe en la Figura 10.

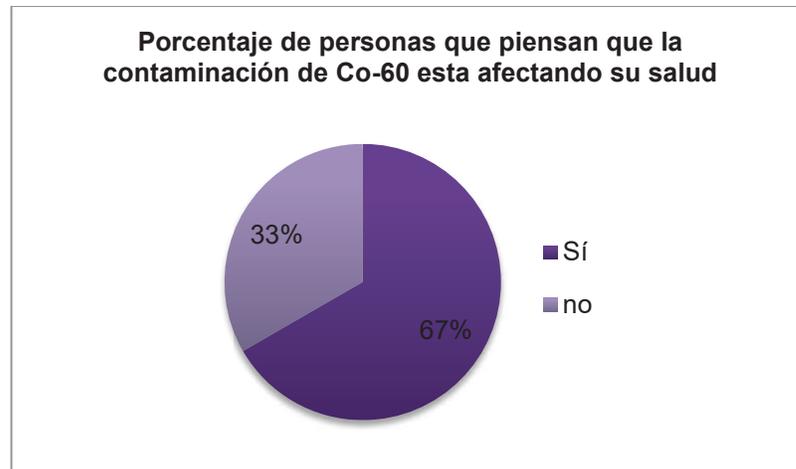


**Figura 10. Personas que tienen conocimiento de la contaminación de Cobalto-60 en la zona de estudio.**

De la población que tenían conocimiento sobre la contaminación de Co-60 emitido por la empresa Aceros de Chihuahua es un 88% siendo la mayoría, solo un 12% desconocía el tema de la contaminación.

### 3.11 *Habitantes por vivienda*

El porcentaje de habitantes que piensa que la contaminación de Cobalto-60 en la zona de estudio está afectando su salud, Se describe en la Figura 4.

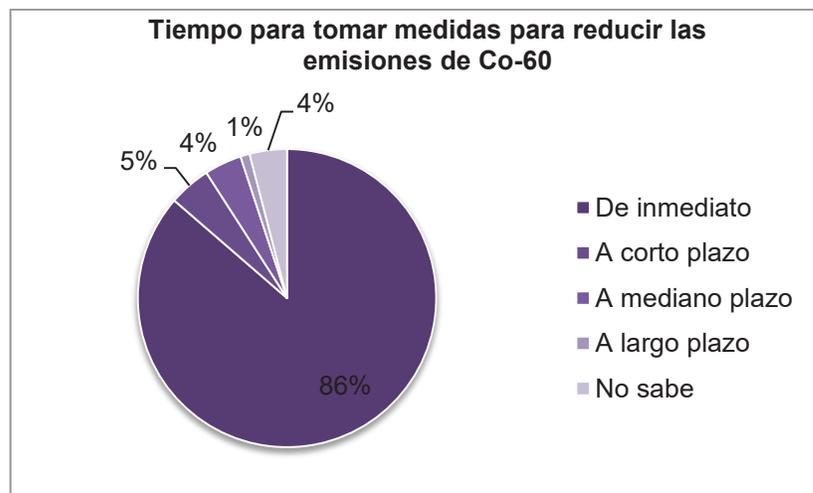


**Figura 11. Porcentaje de personas que piensan que la contaminación de Cobalto-60 está afectando su salud.**

Un 67% de las personas encuestadas piensan que estar expuestas a las emisiones de Co-60 ha afectado o puede afectar su salud, mientras que un 33% no relacionan la contaminación con su estado de salud y opinan que solo se enferman por cuestiones de la edad o por sus hábitos de vida.

### **3.12 Tiempo para tomar medidas para reducir la contaminación de Cobalto-60 en la zona de estudio.**

La opinión de los habitantes de la zona de estudio referente al tiempo en que se deben tomar medidas para reducir las emisiones de Cobalto-60, se describe en la Figura 12.

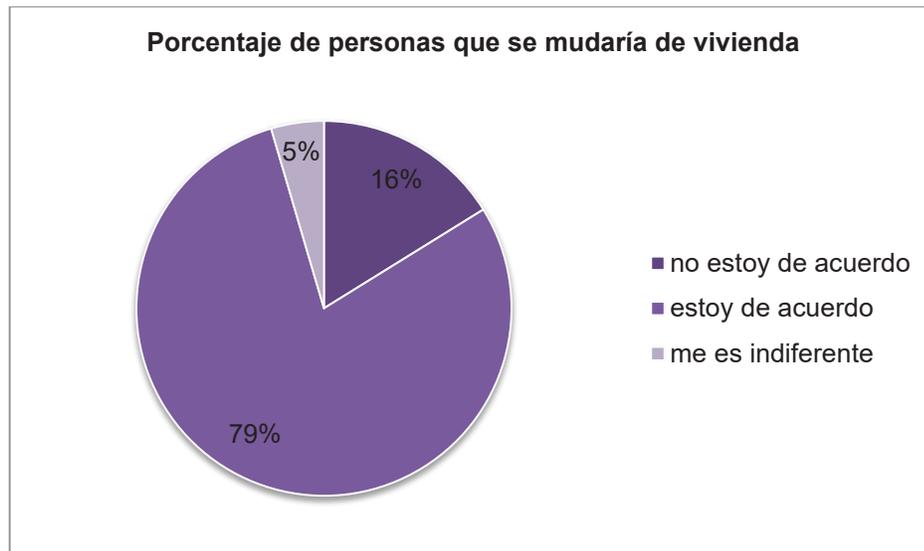


**Figura 12. Tiempo para reducir la contaminación de Cobalto-60 en la zona de estudio.**

Un 86% de la muestra opina que se deben tomar medidas de manera inmediata para reducir la contaminación de Cobalto-60, a corto plazo un 5%, a largo plazo 1%, a mediano plazo un 4% al igual que las personas que no saben.

### 3.13 **Porcentaje de habitantes de la zona de estudio que se mudarían de vivienda.**

El porcentaje de los habitantes de la zona de estudio que se mudarían de vivienda. Se describe en la Figura 13.

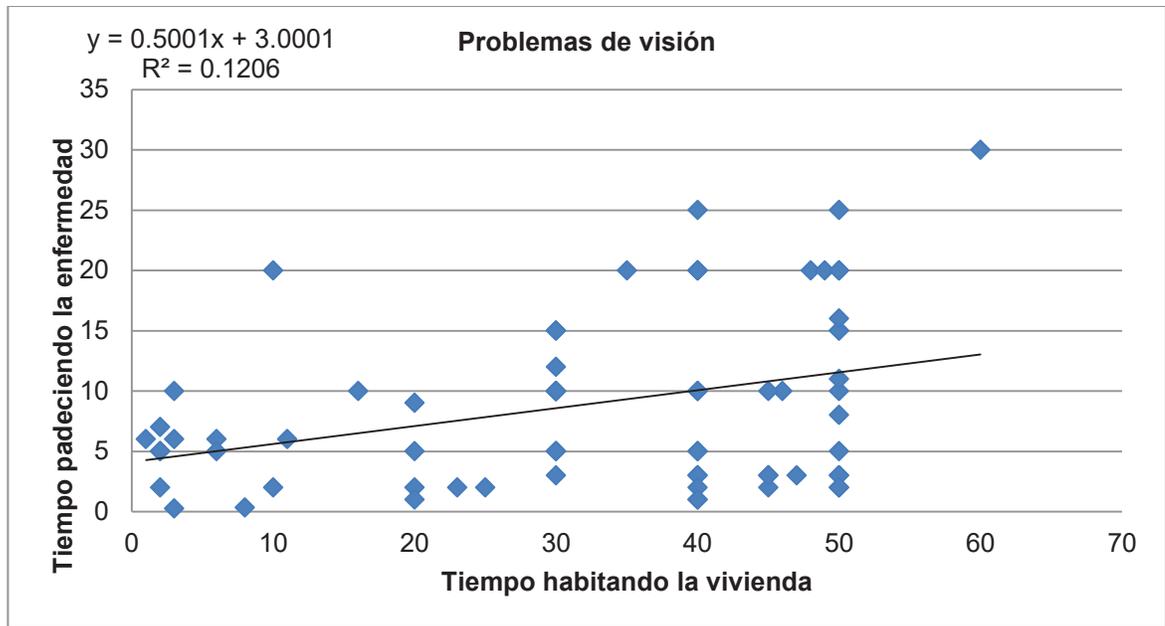


**Figura 13. Porcentaje de habitantes de la zona de estudio que se mudarían de vivienda.**

Un 79% se mudaría de vivienda si tuviera la posibilidad económica, un 16% no se mudaría, y por ultimo un 5% le es indiferente.

### 3.14 **Análisis de Regresión lineal simple**

#### 3.14.A **¿Depende el tiempo padeciendo la enfermedad (problemas de visión) con el tiempo habitando la vivienda?**



**Figura 14.** Tiempo padeciendo la enfermedad (problemas de visión) respecto al tiempo habitando la vivienda.

### 3.14.B Gráfica:

En la gráfica (figura 14) se muestra una tendencia ascendente pero no constante, se observa un incremento en el tiempo que padece la enfermedad respecto a los años que han habitado la vivienda.

### 3.14.C Coeficiente de determinación

$$R^2 = 0.12062617$$

El tiempo padeciendo la enfermedad explica el 12.06% de la variabilidad total del tiempo padeciendo la enfermedad, por lo que el resto es debido a otros factores que no fueron tomados en cuenta para la investigación

Como  $0.0037 < 0.05$  se rechaza  $H_0$ , por lo tanto existe una relación entre las variables tiempo padeciendo la enfermedad y el tiempo habitando la vivienda.

## 4 Conclusiones

Las autoridades correspondientes no se han hecho cargo de limpiar el sitio contaminado, en la visita al lugar se observó que actualmente lo están usando para depositar la basura. El terreno es muy amplio y por la ubicación y características se presta para que personas con adicciones acudan a este lugar a refugiarse, lo que provoca que los habitantes de las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja perciban inseguridad y por las noches por falta de alumbrado público ya no transiten por las calles aledañas al lugar.

Se identificaron los problemas de salud que padece la población de estudio siendo los problemas de visión los que más personas padecen. También se verificó que siete octavos de la población tiene conocimiento sobre la contaminación de Cobalto-60.

También se pudieron identificar las principales causas de muerte como el cáncer ya que cuatro octavos de las viviendas encuestadas uno de los integrantes de la familia fallecieron a causa de dicha enfermedad.

Después de realizar en análisis de los datos recabados mediante la encuesta, se encontró que siete octavos de la población tiene conocimiento sobre la contaminación de Cobalto-60, dos tercios de la población cree que dicha contaminación está afectando su salud y cinco sextos de los encuestados opinó que se deben tomar medidas de manera inmediata para reducir la contaminación.

Tras realizar la visita al sitio se encontró el total abandono, no se ha hecho nada para restablecer o recuperar las condiciones de la zona, además alguna varilla contaminada por Cobalto-60 se sepultó en el sitio lo que provoca que cuando llueve al momento de filtrarse el agua atraviese por el lugar contaminándose. Por lo antes mencionado se incumple con lo establecido en el Capítulo IV de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

## 5 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda vigilancia constante en la zona por parte de las autoridades correspondientes para disminuir el nivel de inseguridad en las colonias Nombre de Dios y Villa Vieja.
- ✓ Por parte de las autoridades correspondientes mantener limpio la zona de residuos de manejo especial.
- ✓ Mantener la zona con buena iluminación por las noches ya que el sitio se vuelve un lugar inseguro para caminar por las noches.
- ✓ Realizar la investigación tomando en cuenta los años que tenían habitando en la zona las personas que fallecieron por alguna de las enfermedades provocadas por el Cobalto-60 para un mejor análisis.
- ✓ Se sugiere realizar un análisis de suelo para verificar los niveles de Cobalto-60 y encontrar plantas que ayudaran a reducir o terminar con la contaminación, así se destinaría la zona a ser un área verde.

## Referencias

- [1] Ramírez V. *“Química 1”*, Grupo Editorial Patria, México, 2015.
- [2] García S. *“Contaminación radiactiva del suelo de Chihuahua”*, UACJ, México, 2010.
- [3] Crosara A. 2013. *“El suelo y los problemas ambientales”*, Edafología, México 2013.
- [4] Mexmen. *“Varilla radioactiva en Chihuahua”*, Mexablog, México, 2011.

## Cap.6 Problema de Inundaciones en la Zona Centro de la Ciudad de Chihuahua

Pérez Villanueva Jorge Alberto, Leyva Chávez Arwell Nathán, Valles Aragón María Cecilia, García Muñoz Silvia Amanda, López Díaz Julio César

Universidad Autónoma de Chihuahua  
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas

### Resumen

*Las inundaciones forman parte de una de las problemáticas ambientales del mundo, y principalmente de nuestro país debido a los climas cambiantes lo que conlleva a innumerables desastres que no solo afectan bienes materiales, sino también, la vida de muchos habitantes.*

*Con base a los antecedentes de inundaciones que tiene la ciudad de Chihuahua y con el acontecimiento que han vivido sus habitantes en años pasados por el desbordamiento de los arroyos colindantes a las colonias y debido a que el municipio está situado en la zona conocida como “La Meseta”, que a su vez forma parte de la región fisiográfica llamada Sierras y Llanuras del Norte.*

*La principal característica de la Meseta es su terreno mayoritariamente plano; es importante implementar un “programa de planeación urbana para la reducción del riesgo de inundaciones”, por lo cual este proyecto busca evidenciar la vulnerabilidad a través de la intervención de métodos estadísticos y levantamiento de datos la situación de vida de los habitantes de dicha zona, lo que impacta directamente en la reducción de la vulnerabilidad y su consecuente riesgo, permitirá de una forma rápida y eficiente entender las diferentes situaciones de emergencias que se pueden presentar.*

*El diseño de un documento de evidenciación de inundaciones en la zona centro de la ciudad de Chihuahua es un instrumento que habla acerca de las situaciones económicas y actividades humanas que viven los habitantes de esta zona debido a las inundaciones.*

*Del plan local de contingencia y del plan de desarrollo del municipio de Chihuahua, debido que la calidad de vida es uno de los componentes asociados al primer objetivo del plan de desarrollo municipal de Chihuahua, a través de la estrategia de fortalecimiento de la capacidad de asimilación de los chihuahuenses ante las inundaciones de gran magnitud y teniendo en cuenta la misión de la ciudad de Chihuahua.*

*Este proyecto busca contribuir en la calidad de vida y educación integral de la ciudadanía basada en la reducción del riesgo latente de las inundaciones, en pro de la vida y el desarrollo social del municipio.*

*Dentro del proyecto se proponen actividades tales como capacitación a la comunidad y personal para mitigar los riesgos de inundaciones y lo que ello conlleva, obteniendo una reducción del nivel de riesgo ante los desastres, logrando difundir conocimientos necesarios encaminando las acciones adecuadas para cada situación.*

**Palabras clave:** inundación, Chihuahua, problemas ambientales, muestreo.

## 1. Introducción

Entre las diversas amenazas naturales que con frecuencia impactan las áreas urbanas, destacan las de origen hidrometeorológico, sobre todo precipitaciones intensas, de corto tiempo y las provocadas por los ciclones tropicales, las cuales al vincularse con la dinámica del proceso de ocupación urbana, favorecen el riesgo de desastre por inundaciones.

Cabe señalar que el problema aumenta rápidamente y sus consecuencias se manifiestan en pérdidas económicas, daños materiales y humanos. Las inundaciones no son un fenómeno reciente. Por ejemplo, se tiene registro del diluvio universal, que más allá de tintes religiosos ha sido estudiado científicamente, generando varias teorías para su explicación.

Sin embargo, es lógico pensar que la información sobre inundaciones es más abundante y está mejor documentada en los últimos años, lo cual no es así. Dentro de la búsqueda de acciones que intentan disminuir el impacto de las inundaciones, se han realizado innumerables investigaciones.

La mayoría de éstas se ven disgregadas entre las instituciones que llevan a cabo dichas investigaciones, de acuerdo con el área del conocimiento en la que se encuentra ubicada, además pocas veces se conjuntan los resultados haciendo que sea difícil obtener un documento sólido e integral que ayude a cumplir dicho objetivo. Este trabajo surge de la necesidad de integrar un conjunto de acciones que ayuden a los tomadores de decisiones en el manejo y control de las inundaciones.

En el trabajo se presentan definiciones sobre cómo se ve afectada la hidrología en el medio urbano y la consecuencia que acarrea en forma de inundación. También se presentan diferentes acciones estructurales y no estructurales que pueden ser de forma preventiva o correctiva.

Se incluyen igualmente, nuevas tecnologías que ayudan en el control de inundaciones, además de un conjunto de acciones que pueden ser implementadas por los tomadores de decisiones, y finalmente se presenta un conjunto de propuestas que pueden ser emprendidas como futuros temas de investigación.

Entre las causas por acción humana, las inundaciones se producen cuando se intervienen en los sistemas naturales sin conocer las características del sistema y sin evaluar las consecuencias. Por ejemplo, eso sucede ante el crecimiento descontrolado de las ciudades, ante el insuficiente y escaso mantenimiento del sistema de desagüe pluvial, el relleno, entre otros [1].

El cambio del uso del suelo natural a suelo de uso urbano genera problemas y retos de ingeniería para lograr el manejo eficiente de los escurrimientos. Frecuentemente, el concepto de hidrología urbana no es considerado como una parte importante de las estrategias para administrar eficientemente, desde una perspectiva hidrológica, esta modificación en los patrones de escorrentías provocados por los cambios en el uso del suelo.

El presente trabajo evalúa las diferentes herramientas de modelación hidrológica aplicando Sistemas de Información Geográfica utilizando el concepto de caracterización de parámetros de la hidrología urbana para estimar riesgos de inundación por efecto de precipitaciones torrenciales en zonas desérticas.

Estos estudios son importantes en función de que permiten estimar el nivel de riesgo a poblaciones e infraestructura urbana, permiten la planeación equilibrada entre los diferentes usos del suelo y pueden ser aplicados en regiones con condiciones de desarrollo semejantes [2].

Identificar daños en los hogares, vialidades, problemas de contaminación, así como obtener datos sobre los ingresos, los gastos de los hogares, las condiciones de vida y riesgos de la población expuesta a problemas de inundación en la ciudad de Chihuahua.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Inundaciones en el Mundo

Las inundaciones son más antiguas que la existencia del hombre en la Tierra. El hombre siempre intentó ubicarse cerca de los ríos para emplearlos como transporte, obtener agua para su consumo y para lanzar sus desechos.

Las áreas próximas a los ríos generalmente son planas, propicias para el asentamiento humano, hecho que motivó su ocupación. Las inundaciones se encuentran entre las fuerzas más poderosas en la Tierra.

Las sociedades humanas en todo el mundo han vivido y muerto con las inundaciones desde sus orígenes, generando un papel destacado para las inundaciones en las leyendas, las religiones y la historia. Por lo que, geólogos, hidrólogos y los historiadores han estudiado el papel de las inundaciones en la humanidad y sus ecosistemas conexos, dando lugar a una nueva apreciación por el papel de las múltiples facetas de las inundaciones en la configuración de nuestro mundo.

Parte de ésta apreciación se deriva de un análisis continuo de las mediciones de caudales a largo plazo, como los registrados por la red del Servicio Geológico los Estados Unidos (USGS) [3].

Pero el reconocimiento del papel importante de las inundaciones en la configuración del paisaje físico y cultural también se debe a una mayor comprensión de la variedad de mecanismos que causan las inundaciones y cómo los tipos y magnitudes de las inundaciones pueden variar con el tiempo y el espacio.

Las inundaciones se pueden clasificar en categorías que correspondan al periodo de retorno, como semestral, anual, de 100 años, de 1000 años y muy rara vez, las "megainundaciones", a escala geológica de tiempo de varios millones de años. De igual manera las inundaciones suelen clasificarse en función de los daños humanos o materiales causados, y la amplitud de tales daños, se puede medir como inversamente proporcional a su previsión, y la disposición o preparación para enfrentar el evento.

Sin embargo, no todas las inundaciones tienen una connotación negativa, en esta categoría están las inundaciones clásicas del río Nilo, el río Tigris y Éufrates, donde se puede destacar los suelos fértiles, que han hecho posible el inicio de la civilización humana hace 10,000 años; lo mismo se aplicaría a la llanura del Ganges y el río Indo en China, así como el río Yangtsé y la parte baja del Río Amarillo, que hizo posible el crecimiento en la economía agrícola.

Las grandes inundaciones, son en su mayoría conocidos por su pérdida catastrófica de vidas y bienes, tales como las inundaciones en el río Mississippi 17 en 1927, el río Columbia en 1948, cuando la ciudad de Vanport fue destruida, y el río Yangtzé en 1931, cuando cerca de 3.5 millones de personas murieron a causa de las inundaciones y la consiguiente hambruna [3].

En todo el mundo, las inundaciones están causando daños considerables año tras año. Según las estadísticas de la Organización Internacional de la Cruz Roja el número medio de personas que han sufrido daños por inundaciones durante el período comprendido entre 1973 hasta 1997 asciende a más de 66 millones de personas.

Esto hace que las inundaciones sea la peor de todas las causas de los desastres naturales (terremotos y la sequía incluidos) [4]. Las inundaciones es el riesgo natural más crónico y costoso en los Estados Unidos, haciendo un promedio de 140 muertes y 5 billones de dólares de daños cada año. A pesar de los avances en el conocimiento de las inundaciones y la aplicación de políticas para la reducción de riesgo, los daños derivados de los mismos siguen aumentando.

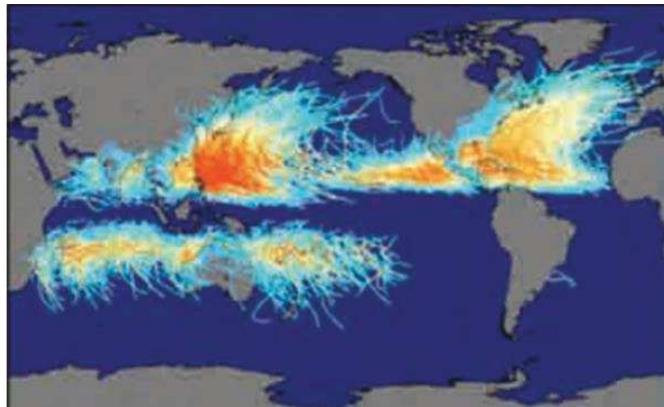
Los daños causados por estos fenómenos son resultado de una combinación de la gran potencia del agua que fluye y la concentración de personas y bienes a lo largo de los ríos. En los Estados Unidos, cerca de 3,800 pueblos y ciudades de más de 2,500 habitantes se encuentran en las llanuras de inundación [3].

Pero el reconocimiento del papel importante de las inundaciones en la configuración del paisaje físico y cultural también se debe a una mayor comprensión de la variedad de mecanismos que causan las inundaciones y cómo los tipos y magnitudes de las inundaciones pueden variar con el tiempo y el espacio.

## 2.2 Inundaciones en México

Debido a sus condiciones geográficas, México experimenta el embate de una gran variedad de fenómenos naturales, entre ellos fenómenos hidrometeorológicos, tales como ciclones tropicales, frentes fríos, entrada de aire húmedo, los cuales pueden ocasionar lluvias intensas que pueden provocar inundaciones, deslaves u otros efectos de esta naturaleza [5].

La sobreexplotación de acuíferos ocasiona graves problemas relacionados con las inundaciones ya que normalmente se asocia con la pérdida de capacidad de drenaje natural y artificial debida al hundimiento de las ciudades. En México, la demanda hídrica debida a la urbanización usualmente no es acompañada por un reacondicionamiento de los sistemas abastecimiento y drenaje, por lo que estos, ven superada su capacidad al cabo de su vida útil. En muchas ciudades existe una inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, que contribuye a la contaminación y la obstrucción de alcantarillas, conductos y canales, reduciendo su capacidad. Además la sobreexplotación de acuíferos ocasiona un hundimiento en las ciudades y con esto se tiene una pérdida de pendiente propiciando la falla en el sistema drenaje que acarrea problemas de inundación mayores [6].



**Figura 1. Trayectorias e intensidades históricas de huracanes. Visión mundial. Fuente: Imágenes de Google. Imagen de R. A. Rohde, photos.mongabay.com/06/1107nasa2.jpg. Abril 2009**

La zona intertropical de convergencia es una banda de baja presión que se forma sobre las regiones de masas de aguas más cálidas en los trópicos, donde las masas de aire están forzadas a ascender por el calentamiento, lo cual origina una abundante formación de nubes y fuertes lluvias. Ciclones tropicales, se presentan lluvias intensas que producen inundaciones año con año, ocasionando serios problemas en todo el territorio nacional. En las dos figuras siguientes se aprecia la alta densidad de trayectorias de ciclones y huracanes que impactan a México, por ambos litorales [7].



**Figura 2. Trayectorias históricas de huracanes. Ambos océanos Fuente: Imágenes de Google (800x463).  
Abril 2009**

En México, la problemática de inundaciones en algunas ciudades es recurrente, ante la carencia de programas y acciones que permitan mitigar este problema, sus efectos se ven reflejados generalmente en la ciudadanía e infraestructura más vulnerable y suelen producir severos daños a la población, vías de comunicación, a la infraestructura urbana, hidroagrícola, fauna, así como a diversas actividades económicas e incluso pueden ocasionar pérdida de vidas humanas. Entre los factores a considerar en las inundaciones están: la distribución espacial de la lluvia, la topografía, las características físicas de los arroyos y ríos, la pendiente del terreno, la pérdida de cobertura vegetal, el uso de suelo, la basura dejada en las calles, la invasión de la gente en las zonas inundables, la expansión de la mancha urbana sin planificación [8].

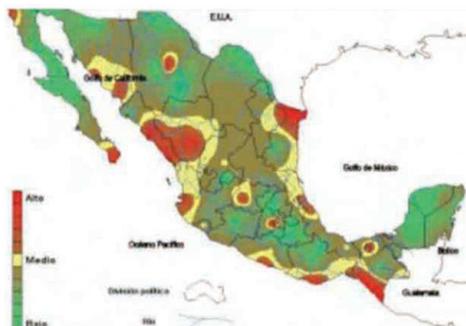


**Figura 3. Frecuencia de inundaciones registradas de 1950 a 2007.**

Utilizando el Índice Nacional de Inundaciones estimado por Agroasemex para 25 años de período de retorno. Índice Nacional de Inundaciones Esta es la BASE para establecer las zonas inundables de México El área de zonas inundables a nivel nacional se estima en 161,510 km<sup>2</sup> de 1'959,248 km<sup>2</sup> (territorio continental) [9].



**Figura 4. Conagua, estadísticas del agua en México 2008.**



**Figura 5. Zonas de mayor peligro de inundaciones.**

### **2.3 Inundaciones en el estado de Chihuahua**

El Estado de Chihuahua, año tras año se ve afectado por diversos fenómenos hidrometeorológicos, los cuales se intensifican y dañan cada vez más a nuestra población. Entre estos peligros están: nevadas, heladas, granizadas, lluvias, entre otros. Sin embargo, el mayor peligro que desafía a la población chihuahuense es el de lluvias torrenciales y tormentas fuertes de corto tiempo.

Este constante peligro acecha con mayor intensidad desde mayo hasta octubre y nos hace recordar los acontecimientos difíciles que han marcado la trayectoria del pueblo chihuahuense, y que ocasionan un gran número de personas damnificadas y un sinfín de daños materiales; estos y otros acontecimientos han dejado ver claramente lo vulnerable que el estado se encuentra ante este tipo de eventos.

Por ello es necesaria la práctica de métodos de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, los cuales, involucran a los tres niveles de gobierno en su esfuerzo de disminuir y erradicar las pérdidas humanas y materiales.

Por ello, se requiere involucrar más a la población mediante una comunicación directa. Para lo anterior, se desarrolló una primera etapa de diagnóstico en donde se calculan los gastos máximos en los cauces principales que cruzan la ciudad, las capacidades de las estructuras pluviales existentes identificando los sitios o zonas conflictivas a lo largo de los cauces de los arroyos dentro de la zona urbana [10].

Los estudios regionales que se hicieron a finales de los años setenta del siglo XX, dieron el derrotero a seguir en los siguientes 20 años en cuanto al recurso agua y, aunque el estudio dio buenos frutos ya está rebasado. Ahora se necesita un nuevo estudio que nos indique para dónde ir.

Ya se tiene el diagnóstico dado por el Plan Hidráulico Gran Visión, estudio realizado en 1997 y patrocinado por la CNA. Se propone tomar ese diagnóstico y generar una estrategia de acción que permita a los chihuahuenses tener una certidumbre de su futuro [11].

En el Estado de Chihuahua la región más densamente poblada es además muy árida, las lluvias se presentan de forma torrencial, es decir, altas intensidades en tiempos cortos, provocando inundaciones. En general en el Estado de Chihuahua se cuenta con infraestructura para control de inundaciones limitadas, en varios lugares es necesario contar con presas para control de avenidas, para protección de centros de población. En muchas partes de la ciudad se tienen problemas de inundaciones debido a que existen construcciones que invaden los cauces, restando capacidad hidráulica, además de situarse en zona de riesgo, en caso de crecidas, estos asentamientos resultan los más afectados [12].

El Municipio de Chihuahua es bañado por las Aguas del Río Sacramento, que pasa por la parte Noreste hasta la parte Suroeste de la cabecera municipal, y el Río Chuiscar; cuenta también

con el paso del Río Santa Isabel, 29 arroyos, uno de ellos es el Mimbres, que es el que tiene menos obstrucciones, arroyo La Manteca que cruza por la Colonia Obrera y arroyo El Saucito y arroyo Magallanes. Las presas que existen son: Presa Chihuahua, El Rejón, Chuiscar, San Marcos y Ojo Laguna.

Debido al incremento poblacional de las localidades del Estado que requieren la ampliación, rehabilitación o construcción de Sistemas de Alcantarillado Sanitario, es necesario una planeación estratégica con visión de disminuir el rezago de los habitantes que no cuentan con este servicio y mantener, rehabilitar y/o sustituir infraestructura existente, para captar las aguas servidas mediante descargas a los Sistemas de Alcantarillado para evitar la contaminación de los mantos freáticos y conducirlos a los puntos de descarga destinados para este propósito [12].

### 3. Aspectos Metodológicos

#### 3.1 Universo investigado

El área de estudio cuenta con un universo de 607 residencias particulares que se ven afectadas por el fenómeno de inundaciones como se representa en la Figura N°1.



Figura 7. Universo de estudio; residencias afectadas por las inundaciones.

#### 3.2 Marco muestral y etapa de selección

Se seleccionó una muestra de 236 viviendas particulares con la fórmula de poblaciones finitas. La muestra fue seleccionada en dos etapas: en la primera etapa se seleccionaron las viviendas ubicadas en las colonias Los Frailes, Las Granjas, Unidad Tecnológico, Junta de los Ríos B Ampliación y Junta de los Ríos que cuenta con infraestructura hidráulica fluvial representada en la Figura N° 2, y sufren problemas de inundaciones.

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2} \quad (1)$$



**Figura 8. Primera etapa de muestreo; residencias colindantes con infraestructura hidráulica fluvial.**

En la segunda etapa representada en la Figura N° 3, se seleccionaron las viviendas ubicadas en las colonias Leones Universidad, Unidad Universidad, La Cima, Residenciales y Rincón La Cima que no cuentan con infraestructura hidráulica fluvial y sufren de inundaciones.



**Figura 9. Segunda etapa de muestreo; residencias que no cuentan con infraestructura hidráulica fluvial.**

Éstas fueron seleccionadas también de forma sistemática con un arranque aleatorio.

### **3.3 Tipo de muestreo**

Teniendo en consideración los objetivos de la investigación, se diseñó una muestra, sumando las dos etapas de muestreo, que fueron de selección estratificada aleatoria, en la primera etapa y de selección sistemática simple con arranque aleatorio en la última etapa.

### **3.4 Tamaño de muestra**

El tamaño de la muestra de viviendas particulares, se determinó en función del escurrimiento del agua fluvial. Los indicadores de variabilidad se estimaron considerándose un nivel de confianza de 95% y un error del 5%.

En este análisis se identificaron los tramos de arroyo que presentan problemas de desbordamiento o inundación así como las estructuras que no tienen la capacidad para permitir el paso del gasto máximo y por ello requieren de modificaciones.

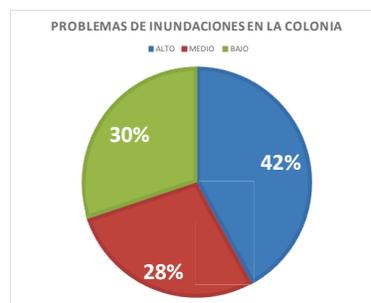
## 4. Resultados

La ciudad de Chihuahua es muy propensa a inundaciones, porque el diseño urbano no tiene un sistema fluvial adecuado o bien en muchas ocasiones los asentamientos humanos se dan en zonas cercanas a los arroyos, sin el permiso del municipio.

El sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad no da abasto para recibir la cantidad de agua derivada de las lluvias torrenciales que ocasionan las inundaciones. Como consecuencia de lo antes mencionado las inundaciones propician daños a la vivienda y en muchas ocasiones a vehículos que son arrastrados por las corrientes de los arroyos.

Las lluvias torrenciales son vistas por los ciudadanos como un riesgo, ya que generan inundaciones en un lapso de tiempo muy corto, incluso peligroso para las personas, que en ocasiones han son arrastradas por la corriente de los arroyos provocando la muerte.

La gráfica 1 muestra que el 42% de las personas piensa que si tienen un problema alto de inundaciones, mientras que el 30% piensa que es bajo, solamente el 28% piensa que es medio.



**Gráfica 1. Opinión de la población sobre si se tiene un problema serio de inundaciones.**

De acuerdo con el artículo 3º el ordenamiento territorial de la ley general de asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderá a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, mediante varias estrategias de las cuales desataca en lo referente a la prevención de inundaciones.



**Gráfica 2. Opinión de la población sobre si se cuenta con una alta limitación de movilidad debido a las inundaciones.**

El 40% de las personas sufre de limitación en su movilidad siempre que se inunda en la colonia donde vive, el 39% algunas veces y solamente el 21% no tiene ningún problema, si lo comparamos con los que sí, sería una diferencia del 21% con un 79%, tal como lo muestra la gráfica 2.

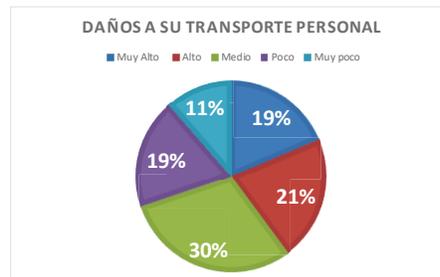
De conformidad con los lineamientos Del Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos (PRAH), el objetivo general del programa, es el de contribuir a la disminución de los efectos negativos ocasionados por los desastres tanto en la población como en el territorio nacional, esto mediante acciones y obras de protección y mitigación en los asentamientos humanos.



**Gráfica 3. Gasto mensual por vivienda en reparaciones de su residencia y propiedades debido a las inundaciones en su calle.**

De acuerdo con la gráfica 3, los gastos que generan las reparaciones en las viviendas debido a las inundaciones, en casi la mitad de la población hacienden a 100 pesos o menos (49%) por mes.

De conformidad con lo establecido en Artículo 264 del Reglamento De Desarrollo Urbano Sostenible Del Municipio De Chihuahua. El Municipio integrará en los programas de desarrollo urbano sostenible, el Informe Anual Municipal de Desarrollo Sostenible y hará los ajustes necesarios para la atención del déficit en los índices prioritarios de desarrollo sostenible, a través de mecanismos de consulta pública.



**Gráfica 4. Daños en el transporte personal de los residentes, debido al mal estado de las calles causado por las inundaciones en su calle.**

La gráfica 4 muestra que el 40% de la población sufre de alto a muy alto algún daño en su transporte personal debido a las inundaciones, el 30% daños medios y el 30% de poco a muy poco daño.

De conformidad con el Artículo 212 del Reglamento De Protección Civil Del Municipio De Chihuahua. En materia de protección civil, son derechos y obligaciones de los habitantes, residentes y de cualquier persona que transite por el Municipio, Informar o denunciar cualquier riesgo provocado por agentes naturales o humanos que, de subsistir, pueda generar un siniestro o desastre.



**Gráfica 5. Daños a la calle debido a las inundaciones en la colonia.**

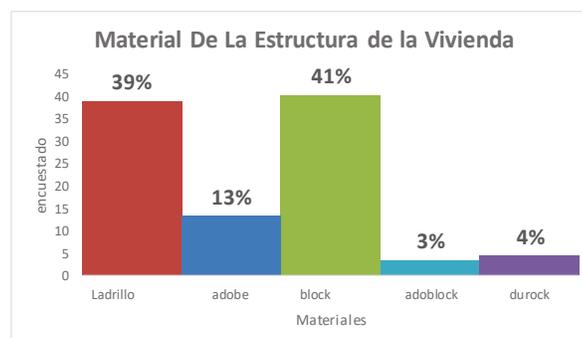
La gráfica 5 muestra que el 19% de la población considera como muy alto, que las calles de su colonia frecuentemente se encuentran en mal estado debido a las inundaciones, el 23% de la población lo considera como alto y el 36% como medio.

De conformidad con los lineamientos establecidos por el Sistema Nacional de Protección Civil. Artículo 31. En el caso de que se identifiquen riesgos específicos que puedan afectar de manera grave a la población de una determinada localidad o región, se podrán elaborar Programas Especiales de Protección Civil.



**Gráfica 6. Daños a la fachada de su residencia, debido a las inundaciones en la colonia.**

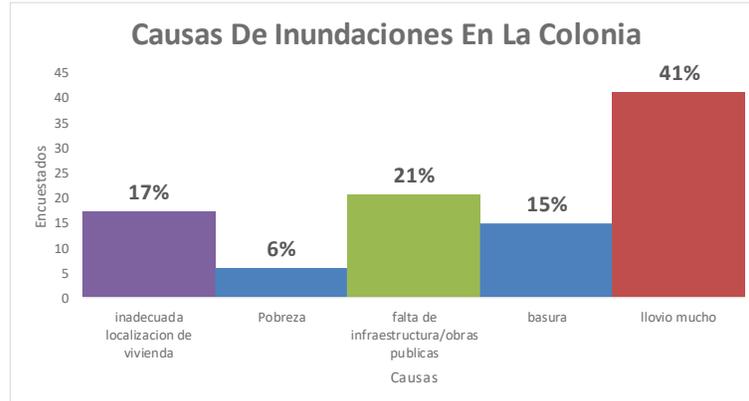
Las fachadas de las viviendas, como se puede observar en la gráfica 6, es donde sufre menos daños, en comparación con el transporte por ejemplo, el 50% de la población sufre de poco a muy poco, el 16% regular y solamente el 34% de alto a muy alto. De conformidad con los lineamientos establecidos por el Sistema Nacional de Protección Civil. Artículo 31. En el caso de que se identifiquen riesgos específicos que puedan afectar de manera grave a la población de una determinada localidad o región se podrán elaborar Programas Especiales de Protección Civil.



**Gráfica 7. Material de que esta echo la estructura de las viviendas encuestadas, que son afectados por las inundaciones.**

De acuerdo a la gráfica 7, la gran mayoría de las casas se encuentran estructuradas por block y ladrillo, en un 41% y 39% respectivamente, el 20% restante es debido a otros materiales.

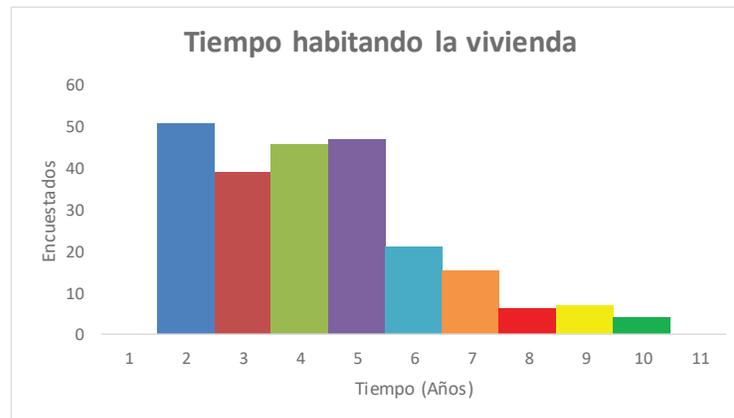
De conformidad con lo establecido en Artículo 13 del Reglamento De Construcción y Normas Técnicas Del Municipio De Chihuahua. Para los efectos de este Reglamento, las construcciones en el municipio se clasifican atendiendo, por un lado, a su género y rango de magnitud, y por otro, al tipo de acción constructiva al que pueda estar sujeta cada edificación.



**Gráfica 8. Opinión de los residentes sobre cuál es la principal causa de inundaciones en la colonia.**

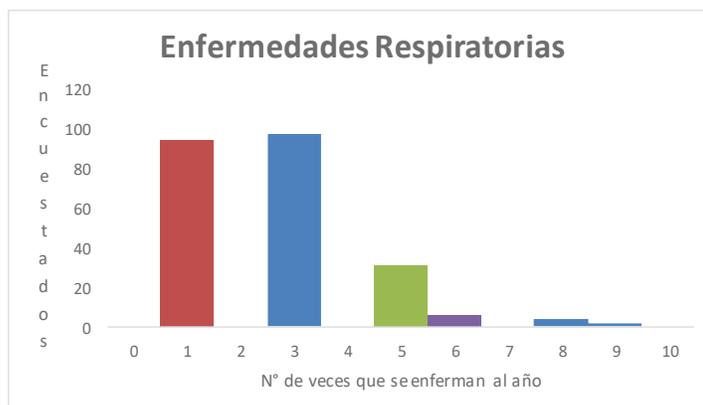
La percepción de las personas de las causas por las cuales se inunda la colonia de acuerdo a la gráfica 8, es porque llovio mucho (41%), sin embargo el 21% de los residentes de las colonias mencionan que su colonia se inunda por la falta de infraestructura de obras públicas, seguido de un 17% que menciona que la localización de la vivienda no es la adecuada.

De conformidad con lo establecido en el artículo 99 del Reglamento Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente Del Municipio De Chihuahua, Hacer mal uso del drenaje pluvial vertiendo agua producto de quehaceres domésticos y lavado de patios y/o cocheras, así como áreas donde se alojan animales.



**Gráfica 9. Resultados de la encuesta: tiempo (años) de los residentes habitando la vivienda.**

El tiempo más recurrente que se muestra en la gráfica 9 lo podemos observar entre los 2 y los 5 años, por lo que podemos decir que, las personas que viven dentro de esta colonia son relativamente nuevos, por lo que es muy probable que no sepan del problema que abordamos con esta investigación.



**Gráfica 10. Resultados de la encuesta: frecuencia anual con que presentan enfermedades respiratorias los residentes de las viviendas encuestadas.**

La frecuencia con la que presentan enfermedades respiratorias los residentes de las colonias encuestadas es de 1-3 veces al año, seguidas de 5-6 veces anuales. De conformidad con los lineamientos establecidos en NOM-024-SSA2-1994, para la prevención y control de las infecciones respiratorias agudas en la atención primaria a la salud.

## 5. Conclusiones

Como podemos observar existe un grave problema dentro de las colonias Los Frailes, Las Granjas, Unidad Tecnológico, Junta de los Ríos B Ampliación y Junta de los Ríos que cuenta con infraestructura hidráulica fluvial dentro de las mismas.

Las personas en un 70% están conscientes de que sufren un problema de inundación en la colonia cuando son temporadas de lluvia en la ciudad, por lo que se tendría que revisar la ley general de asentamiento humanos y el desarrollo humano por parte de las autoridades para generar estrategias que lleven a una mejor calidad de vida de estas personas residentes.

La movilidad se ve comprometida al momento de las inundaciones dentro de las colonias, por lo que acciones y obras de protección preventivos serían los adecuados en este tipo de problemática.

Los gastos por la problemática ya mencionada, que pudiera generar, son varios, en donde más de la mitad de la población piensa que es demedio a muy alto, estos costos abarcan transporte, vivienda, la propia calle; esto es un gasto que no se debiera contemplar dentro de ningún presupuesto.

Debido a que las casas son en su mayoría ladrillo y block, las casas en su apariencia no se ven tan dañadas, pero ya acercándose y observando con más detalle, se puede ver las grietas en techos y paredes.

Se debe de hacer consciencia en la ciudadanía, ya que solamente el 41% de la población piensa que es debido a las lluvias, resaltando un 15% a la basura que se genera, tapando las salidas del alcantarillado y ocasionando desastres, por lo que un programa de concientización a la población sería recomendable.

Algunos otros análisis estadísticos como regresiones lineales, no lineales y técnicas paramétricas fueron efectuadas, pero al no generar significancia no se tomaron en cuenta para este estudio.

Debido al incremento poblacional de las localidades del Estado que requieren la ampliación, rehabilitación o construcción de Sistemas de Alcantarillado Sanitario, es necesario una planeación estratégica con visión de disminuir el rezago de los habitantes que no cuentan con este servicio y mantener, rehabilitar y/o sustituir infraestructura existente, para captar las aguas servidas mediante descargas a los Sistemas de Alcantarillado para evitar la contaminación de los mantos freáticos y conducirlos a los puntos de descarga destinados para este propósito. Considerando la estrecha relación que existe entre el desarrollo del Estado y la salud de su población, la prevención de la contaminación de cuerpos de agua, así como de fuentes de abastecimiento para consumo humano por descargas de aguas residuales adquiere una gran relevancia, así mismo la mitigación de los efectos adversos generados por el uso público urbano del recurso hidráulico, por lo cual es necesario implementar acciones de sustentabilidad del recurso agua, tales como el saneamiento. El llegar a estos escenarios se fundamenta principalmente, en la implementación de alternativas de financiamiento que permitan la ampliación de las coberturas, la ampliación de la micro y macromedición del servicio, la eficientización de la operación de los sistemas de distribución de agua y la reducción de pérdidas, la promoción del uso responsable del agua para disminuir el consumo por habitante y la consolidación de la cultura del agua.

## Referencias

- [1] Presidencia de la Nación, 2015. Ministerio de Salud. [En línea]
- [2] Galicia, L., 2014. El cambio de uso de suelo: Consecuencias en el ciclo hidrológico y la disponibilidad del agua., s.l.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- [3] O'Connor, J. & Costa, J., 2004. Large Floods in the United States: Where They Happen and Why. 2003 ed. USA: Geological Survey Circular 1254. Available at: <http://www.msal.gob.ar/salud-y-desastres/index.php/riesgos-de-desastres-en-argentina/principales-amenazas/inundaciones> [Último acceso: 2016].
- [4] Cosgrove, W. & Rijsberman, F., 2000. World Water Vision. First Published ed. London: Earthscan Publications Ltd.
- [5] Comisión Nacional de Agua, 2011. Manual para el control de Inundaciones, Tlalpan, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [6] Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del Distrito Federal. (1997). Hidráulica Urbana. No. 1-5.
- [7] CONAGUA. (06 de abril de 2009). Obtenido de <http://sgh.conagua.gob.mx/inventario/C2.pdf>
- [8] Rodríguez Varela José Manuel, A. Y. (29 de 11 de 2014). Obtenido de PROBLEMÁTICA DE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS Y PROPUESTAS: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/87224/MAPAS-DE-RIESGO-EN-ZONAS\\_URBANAS\\_29dic14.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/87224/MAPAS-DE-RIESGO-EN-ZONAS_URBANAS_29dic14.pdf)
- [9] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (10 de abril de 2008). CONAGUA. Obtenido de INEGI: [https://www.imta.gob.mx/potamologia/images/stories/ponencias\\_tercer\\_seminario/seminario/felipe\\_arreguin/riesgosinundacionmexico25082011vb.pdf](https://www.imta.gob.mx/potamologia/images/stories/ponencias_tercer_seminario/seminario/felipe_arreguin/riesgosinundacionmexico25082011vb.pdf)
- [10] IMPLAN, 2006. Plan Sectorial de Agua Pluvial, Chihuahua, Chihuahua.: Secretaria de Desarrollo Social.
- [11] Reyes, I., Reyes, M. & Ruiz, H., 2009. Problemática del Agua en Chihuahua: Una Propuesta. CULCyT, Marzo-Abril.p. 7.
- [12] Desarrollo, D. D. (17 de octubre de 2005). *Junta Central de Agua y Saneamiento del estado de Chihuahua*. Obtenido de Analisis sobre uso y manejo de los recursos hidraulicos en el estado de Chihuahua: [https://www.tceq.texas.gov/assets/public/compliance/R15\\_Harlingen/US-MX%20BGC%20Water%20table%20documents/MX%20States/Chihuahua/doc\\_anal\\_sobre\\_usoy\\_manejo\\_recursos\\_hidraulicos\\_en\\_chihuahua.pdf](https://www.tceq.texas.gov/assets/public/compliance/R15_Harlingen/US-MX%20BGC%20Water%20table%20documents/MX%20States/Chihuahua/doc_anal_sobre_usoy_manejo_recursos_hidraulicos_en_chihuahua.pdf)

## Cap. 7 Sistema Mecatrónico Controlado con Arduino-Scilab

García Liñán Gerardo, Govea Valladares Eder Hazael, Limon Leyva Pablo Alberto,  
García Zugasti Pedro de Jesús, Vázquez Hernández Enrique Alejandro

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Instituto Tecnológico de San Luis Potosí  
Av. Tecnológico S/N, Col. UPA., C.P. 78437  
Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., México.

### Resumen

*Los ecosistemas y modelaciones ecológicas crecen a grandes pasos, por ello se auxilian de diferentes áreas de las ciencias como las matemáticas, teoría de control, computación, etc., las simulaciones de ecosistemas tiene como objetivo modelar la dinámica de los ecosistemas principales, con el fin de sintetizar el comportamiento de estos sistemas, así mismo permite predicciones de cambios en el comportamiento futuro.[1]*

*Debido a que los ecosistemas son muy complejos, existe interés en realizar predicciones y evitar catástrofes naturales, por ejemplo con la extinción de alguna especie animal, huracanes, terremotos, etc. incluso en el cuerpo humano se pueden evitar enfermedades con lecturas predictivas de algún padecimiento, todo ello es posible implementarlo con ayuda de los sistemas mecatrónicos, ya que fingen como interprete al adquirir información del mundo físico y enviarlos a un control de procesamiento, este control de acuerdo a la programación realizada previamente, podría predecir anomalías, cambios, fisuras, fatigas, etc., de esta manera se abre la puerta a las ciencias multidisciplinarias donde la naturaleza se une con la ingeniería.*

*Uno de los principales intereses de las simulaciones de ecosistemas, es que ofrecen una visión global de la evolución de un sistema, lo cual es difícil de observar en la naturaleza, por otro lado, el alcance de las simulaciones de ecosistemas siempre ha sido limitado por las posibilidades de cálculos. Hoy en día es posible hacer simulaciones mucho más complejas e incluso validarlas con experimentos, sin embargo, para simular la reproducción de los diferentes sistemas, se tienen que pagar costos elevados.*

*En el área de simulación de ecosistemas, se proporciona un enfoque de las características y el comportamiento de organismos individuales, por ejemplo las plantas requieren de determinadas longitudes de onda para la producción de carotenos y , estos elementos son básicos para su crecimiento y desarrollo, al igual las personas requieren de cantidades de luz, aire, agua, etc. esto permite que los seres vivos tengan condiciones apropiadas de crecimiento y evolución, sin embargo al romper el equilibrio se pueden presentar cambios o alteraciones en los diferentes organismos[1].*

*Es por esto que se hace una recreación de un ecosistema en tiempo real con una interface hombre-máquina con la placa de adquisición de datos arduino y un software de licencia libre que continuamente esté censando y controlando este microecosistema, de tal manera que sea capaz de ser autómatas en todos los aspectos necesarios para que pueda cumplir con el control de las variables específicas del sistema como por ejemplo temperatura, iluminación, etc.*

**Palabras clave:** Arduino, Scilab, Control, Simulación de sistemas.

## 1. Introducción

Un ecosistema es un sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos (biocenosis) y el medio físico donde se relacionan (biotopo), dicho de otra manera: es una unidad compuesta de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat. Los ecosistemas suelen formar una serie de cadenas que muestran la interdependencia de los organismos dentro del sistema. También se puede definir así: «Un ecosistema consiste de la comunidad biológica de un lugar y de los factores físicos y químicos que constituyen el ambiente abiótico. [1]

## 2. Arduino

El nombre de éste segundo título dependerá de cómo se haya estructurado el artículo. En caso de que la estructura del artículo requiera de subsecciones, estas se enumerarán de acuerdo a su orden de aparición. Todos los títulos (Resumen, Introducción, etc.) se escribirán usando el tipo Arial normal de 12 puntos.

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque (bootloader) que corre en la placa.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software del ordenador (por ejemplo: Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data). Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

Al ser open-hardware, tanto su diseño como su distribución es libre. Es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

Consta de 14 entradas digitales configurables entrada i/o que operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. Los pines 3, 5, 6, 8, 10 y 11 pueden proporcionar una salida PWM (Pulse Width Modulation). Si se conecta cualquier cosa a los pines 0 y 1, eso interferirá con la comunicación USB, en la figura 2.1 se muestra un modelo de la placa Arduino uno. Arduino Diecimila también tiene 6 entradas analógicas que proporcionan una resolución de 10 bits. Por defecto miden de 0 voltios (masa) hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el nivel más alto, utilizando el pin Aref y algún código de bajo nivel.

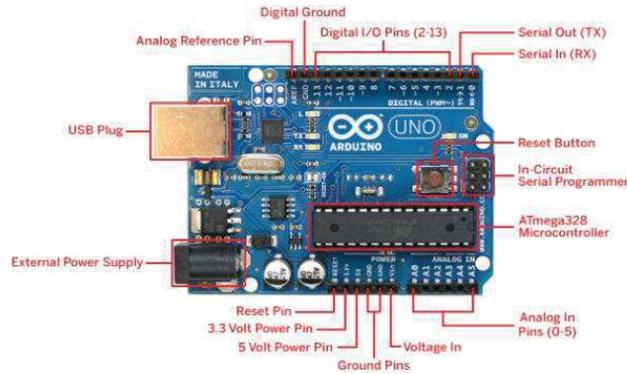


Figura 2.1 Placa Arduino Uno

## 2.1 Arduino IDE

Las siglas IDE vienen de Integrated Development Environment, lo que traducido a nuestro idioma significa Entorno de Desarrollo Integrado. Esto es simplemente una forma de llamar al conjunto de herramientas software que permite a los programadores poder desarrollar (es decir, básicamente escribir y probar) sus propios programas con comodidad. En el caso de Arduino, necesitamos un IDE que permita escribir y editar nuestro programa (también llamado “sketch” en el mundo de Arduino), que nos permita comprobar que no hayamos cometido ningún error y que además nos permita, cuando ya estemos seguros de que el sketch es correcto, grabarlo en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino para que este se convierta a partir de entonces en el ejecutor autónomo de dicho programa, como se muestra en la figura 2.2.[7]

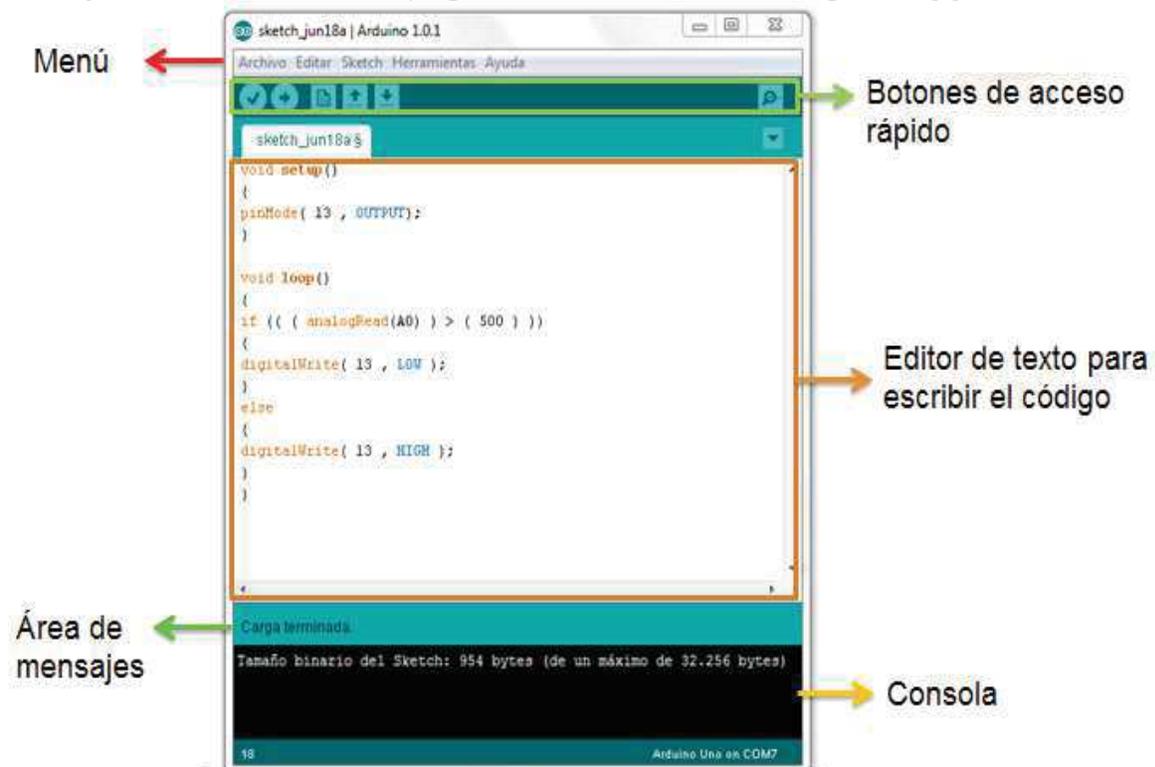


Figura 2.2. Ventana Principal de Arduino IDE.

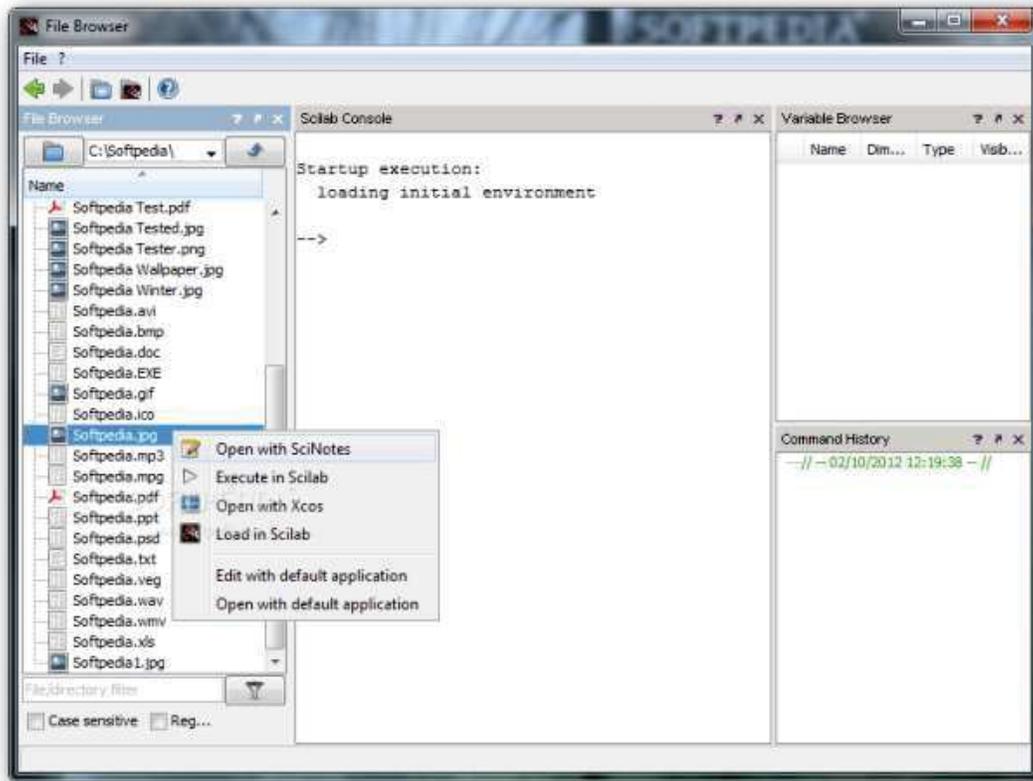
### 3. Silab

Es un software, con un lenguaje de programación de alto nivel, para cálculo científico, interactivo de libre uso y disponible en múltiples sistemas operativos (Mac OS X, GNU/Linux, Windows). Desarrollado por INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) y la ENPC (École Nationale des Ponts et Chaussées) desde 1990, por Scilab Consortium dentro de la fundación Digiteo desde 2008, Scilab es ahora desarrollado por Scilab Enterprises desde julio 2012.

Scilab fue creado para hacer cálculos numéricos aunque también ofrece la posibilidad de hacer algunos cálculos simbólicos como derivadas de funciones polinomiales y racionales. Posee cientos de funciones matemáticas y la posibilidad de integrar programas en los lenguajes más usados (Fortran, Java, C y C++) [2]. La integración puede ser de dos formas: por ejemplo, un programa en Fortran que utilice Scilab o viceversa. Scilab fue hecho para ser un sistema abierto donde el usuario pueda definir nuevos tipos de datos y operaciones entre los mismos en la figura 3.1 se observa la ventana del Scilab para abrir un archivo a trabajar.

Scilab viene con numerosas herramientas: gráficos 2-D y 3-D, animación, álgebra lineal, matrices dispersas, polinomios y funciones racionales, Simulación: programas de resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales (explícitas e implícitas), Xcos: simulador por diagramas en bloque de sistemas dinámicos híbridos, Control clásico, robusto, optimización LMI, Optimización diferenciable y no diferenciable, Tratamiento de señales, Grafos y redes, Scilab paralelo empleando PVM, Estadísticas, Creación de GUI's, Interfaz con el cálculo simbólico (Maple, MuPAD), Interfaz con TCL/TK.

En el pasado Scilab podía ser utilizado en el análisis de sistemas, pero no podía interactuar con el exterior. Hoy en día se pueden construir interfaces para que desde Scilab se pueda manejar un dispositivo, se conecte a la red a través de Tcp (Protocolo de Control de Transmisión) o Udp (User Datagram Protocol), etc. Esto brinda la posibilidad de conectar una placa de adquisición de datos a Scilab y de esta forma el control on-line.



**Figura 3.1. Ventana principal de Scilab 5.5.1**

### 3.1 Xcos

El programa Scilab tiene un entorno similar a Simulink de Matlab para simulación de sistemas dinámicos y resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales. Este entorno posee varios paquetes que incluye algunas herramientas para simulación sencilla de circuitos eléctricos y termo hidráulica. Es un editor gráfico eficaz para modelar sistemas dinámicos híbridos. Sistemas discretos y continuos se pueden diseñar, cargar, guardar, compilados y simulados. Bloques disponibles incluyen procesamiento de señales, eléctrica, termo-hidráulica, las operaciones matemáticas, y mucho más. Bloques definidos por el usuario pueden ser fácilmente añadidos a la estructura, en la figura 3.1.1 se observa un ejemplo.

Xcos proporciona un modelado de sistemas y simulación ambiente con todas las funciones:

- Paletas estándar y bloques
- La construcción de modelos y edición
- Sub-modelado para los modelos reutilización y simplificación
- Personalización Modelo
- Simulación, incluyendo incrustado compilador Modelica y generación de código C para un mejor rendimiento
- Análisis de resultados y visualización

Xcos beneficia de las numerosas puertas de enlace y enlaces gratuitos Scilab, como la puerta de entrada de National Instruments LabVIEW a Scilab y el módulo NIDAQ para conectar los dispositivos de adquisición de datos de E / S[3].

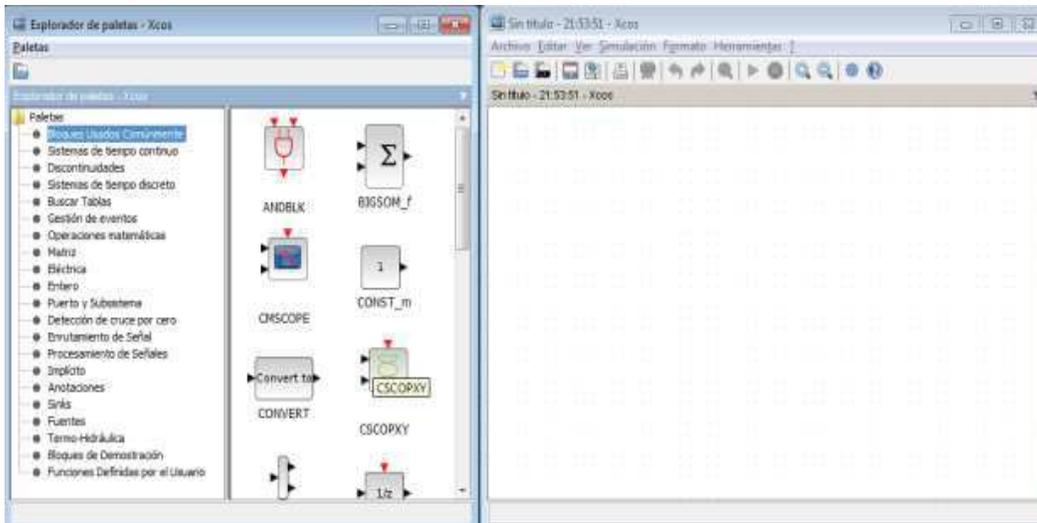


Figura 3.1.1. Ventana Principal de Xcos

### 3.2 Interfaz

Este proyecto se realizó a partir de la necesidad de poder tener un ecosistema que sea sustentable y automatizado para poder preservar especies de seres vivos en su ambiente natural, lo que se pretende es que en caso de tener alguna especie en peligro de extinción pueda seguir viviendo en un ambiente de cautiverio pero con la comodidad de estar en un entorno muy similar a su ecosistema, es por eso que recurrimos a una automatización que utilice una programación en tiempo real para que las especies que ahí vivan estén en constante monitoreo y evitar que por la falla de algunos componentes físicos que se utilicen para la automatización puedan ocurrir catástrofes, es por eso que se creó una interfaz que nos permita lo anteriormente dicho, además de que estos software son de distribución gratuita y que su interfaz es fácil de utilizar así como ir realizando los sistemas dinámicos que iremos utilizando y que se irán explicando más adelante.

### 3.3 Interfaz arduino-scilab

Lo primero que se hace es abrir el scilab, observaremos una ventana como en la figura 3.3.1.

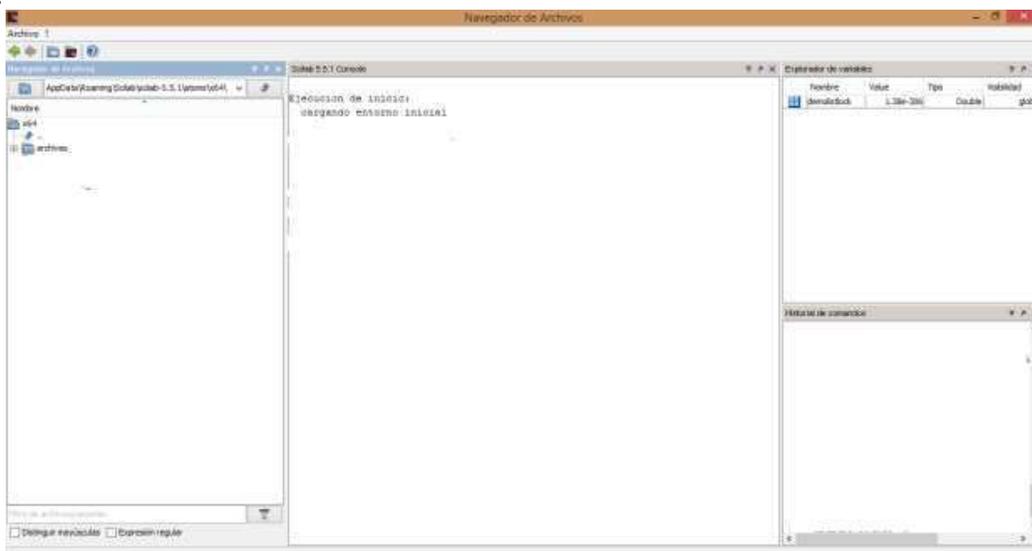


Figura 3.3.1 Ventana Principal Scilab

Enseguida instalaremos los ATOMS necesario para poder crear la interfaz entre los programas, vamos al icono de Atoms[4], esperamos a que se actualice nuestras librerías, después nos aparece una venta como en la figura 3.3.2.

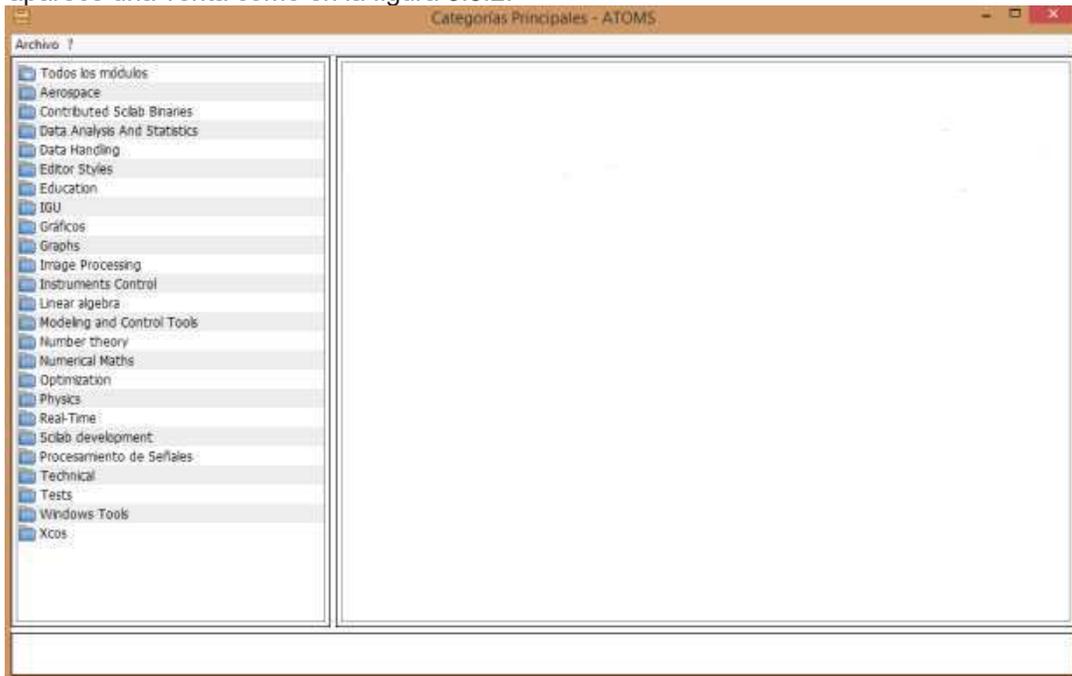


Figura 3.3.2. Ventana principal para descargar librerías

Es necesario instalar las librerías de *arduino* y la de *serial communicationtoolbox* para hacer dicha interfaz, se encuentran en el submenú de *Instruments control* como aparece en la imagen 3.3.3, buscamos donde nos aparezca *arduino* e instalamos al igual que *serial communicationtoolbox*.

Al finalizar es necesario reiniciar el SCILAB de manera correcta.

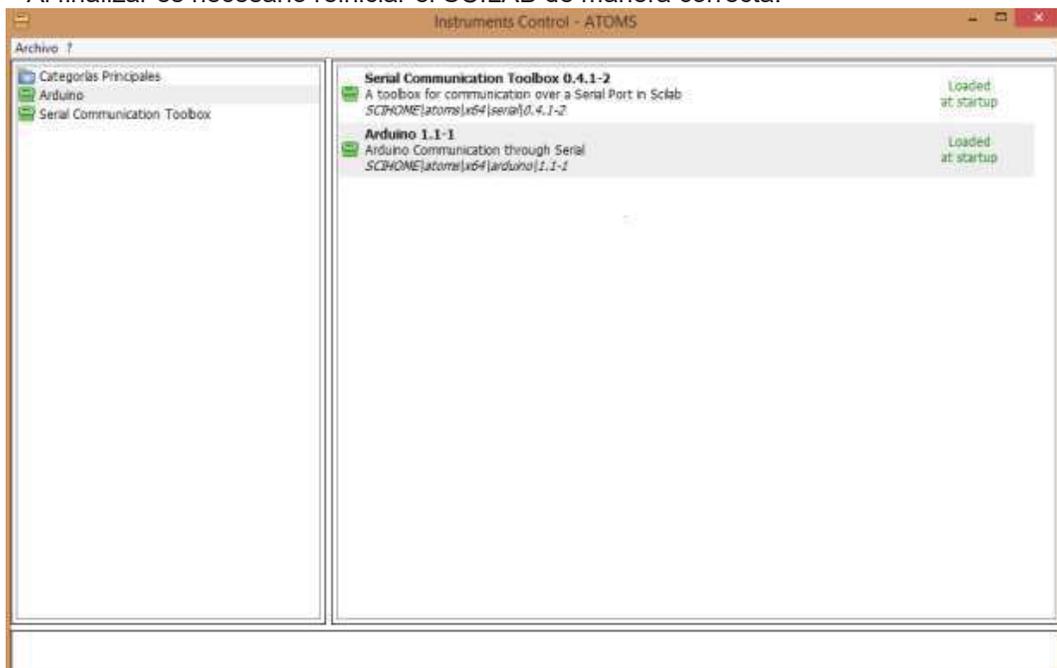


Figura 3.3.3. Instalación de Librerías arduino y serial communicationtoolbox.

Observamos que al abrir de nuevo el SCILAB aparece en la ventana de inicio que se han instalado las nuevas librerías como se observa en la imagen 3.3.4.

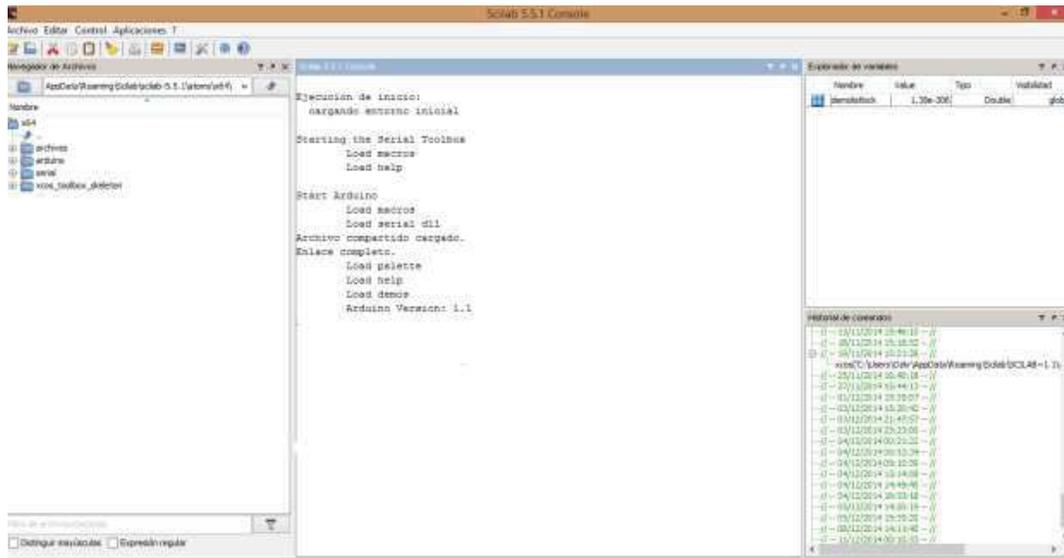


Figura 3.3.4. Ventana después de instalar ATOMS.

Ahora vamos a cargar el *sketch* que nos hace posible poder utilizar nuestro arduino como tarjeta de adquisición de datos.

Después buscamos el icono que diga Xcos y le damos click, deberá abrir una ventana como la que podemos ver en la figura 3.3.5 [3, 5].

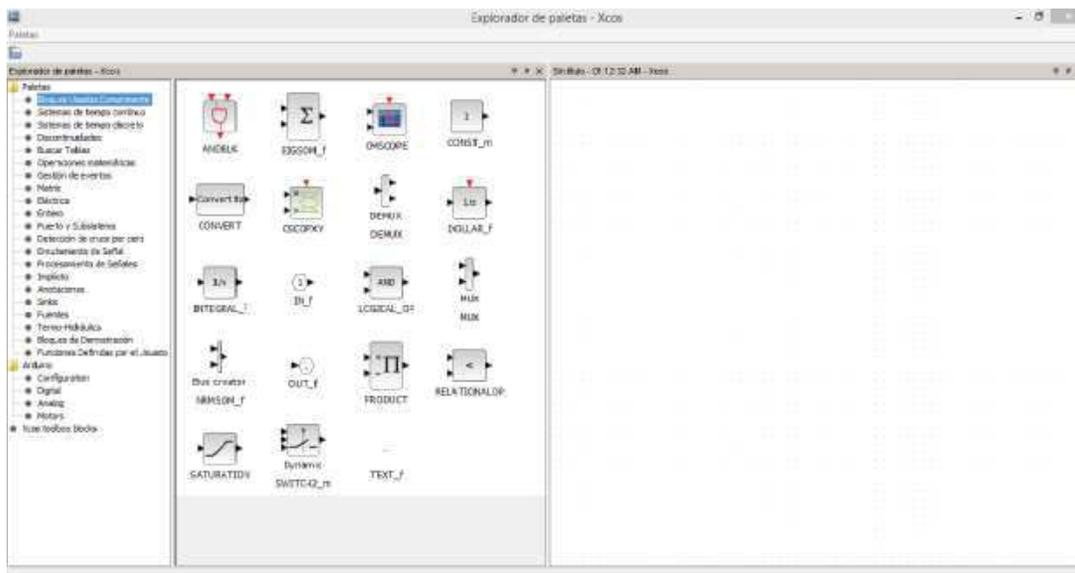


Figura 3.3.5. Ventana Principal de Xcos.

Como se puede observar en la anterior imagen ya tenemos instaladas las librerías de Arduino. Esto quiere decir que nuestra interfaz ha sido realizada con éxito.

### 3.4 Programación

En el paso anterior se explicó cómo hacer la interfaz, cabe mencionar también que este paso solamente es necesario hacerlo una sola vez y el programa quedará guardado, en algunos casos es necesario volver a cargar el sketch al arduino.

Con esto hecho, se procede a ir a la programación, como ya se dijo es necesario abrir el scilab y después el Xcos como se puede apreciar tenemos una ventana de bloques solo hay que ir eligiendo los que sean necesarios para nuestro programa, el diagrama de la figura 3.4.1 fue el que utilizamos, más adelante explicaremos cuál es su funcionamiento.

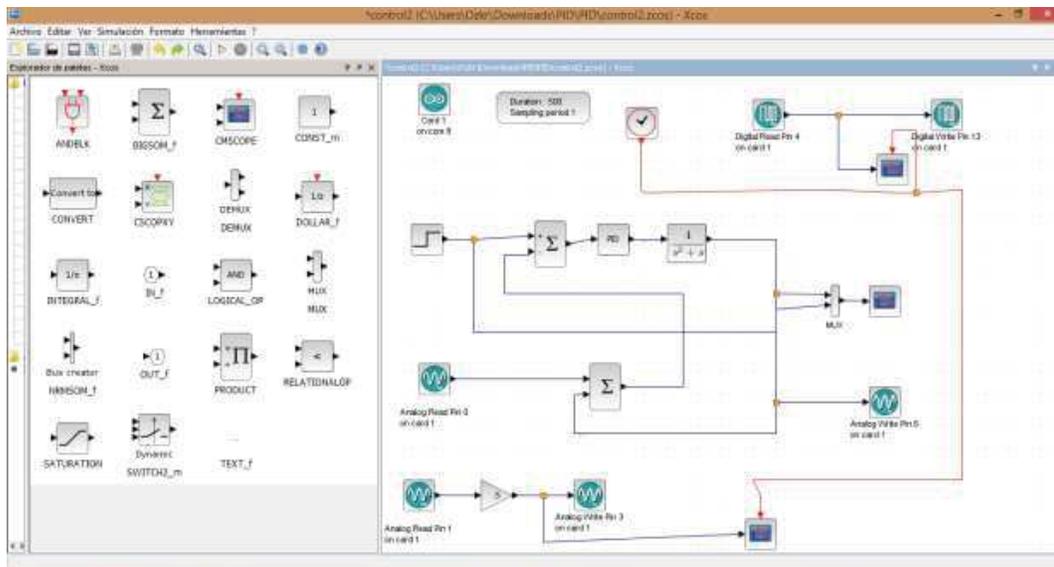


Figura 3.4.1 Diagrama de Bloques.

La primera parte está dada por una entrada digital y una salida también digital, como podemos ver en la figura 3.4.2 el sensor que en este caso es uno de humedad en el suelo nos indicará cual es el estado de la tierra en caso de que falte agua encenderá una alarma que le indica al operario que es necesario encender alguna bomba o cualquier otro actuador para humedecerla[7].

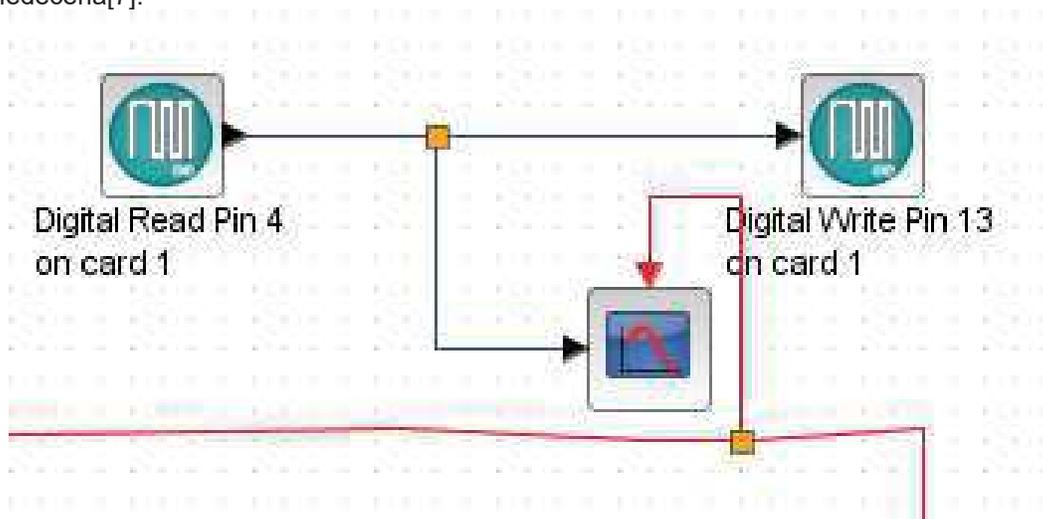


Figura 3.4.2 Diagrama del Sensor de Humedad.

Podemos apreciar que la programación es de lo más sencilla solo es ir indicando cual será la función del sensor y los actuadores que este activará. Las conexiones para este sensor son voltaje (5volt) GND salida Digital y salida Análoga, como vemos en el diagrama se optó por la salida digital, el sensor lo podemos apreciar en la siguiente imagen[2, 3, 5, 6].

También se censo la humedad y la iluminación utilizando sensor de humedad y una fotorresistencia como vemos en la figura 1.12 y 1.14 las cuales introducen la información al arduino para que nuestro sistema procese la información.

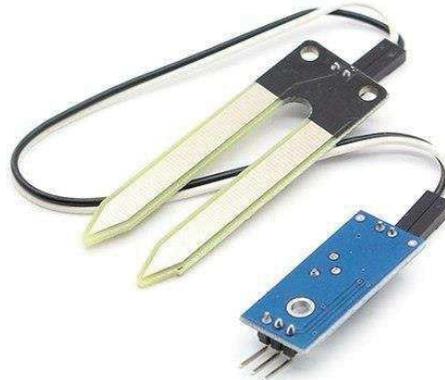


Figura 3.4.3 Sensor de Humedad en el suelo.

Para el sensor de luminosidad mostrado en la figura 3.4.3, utilizamos una fotorresistencia y el siguiente diagrama el cual observamos en la figura 3.4.4 se puede ver que es una salida análoga, por lo tanto lo conectamos en la A1 del arduino Uno.

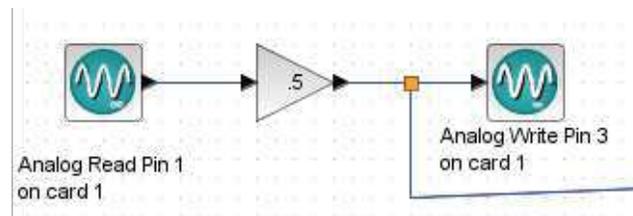


Figura 3.4.4. Diagrama de fotorresistencia.

También tenemos una ganancia de 0.5 esto se debe a que el valor que tenemos en la salida de la fotorresistencia es muy grande y para visualizarlo de mejor manera hacemos este pequeño arreglo. El diagrama eléctrico lo podemos ver en la figura 3.4.5 y en lugar una resistencia de un valor fijo se utilizó un potenciómetro de 100kΩ para ajustar el valor deseado, este sensor activara un ventilador que se encenderá al no detectar luz esto es para que las plantas tengan oxígeno por las noches, ya que como se sabe las plantas en la noche expulsan dióxido de carbono y necesitan de oxígeno para este proceso.

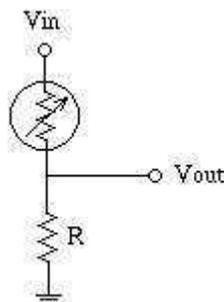


Figura 3.4.5. Diagrama eléctrico fotorresistencia.

Y para el último diagrama la programación es un poco más compleja, es necesario tener los conocimientos de diagramas de bloques y dinámica de sistemas, como se observa se usó un control PID para que el sistema sea capaz de llegar a la temperatura que se indica de una manera rápida y estable, el diagrama es el que aparece en la figura 3.4.6.

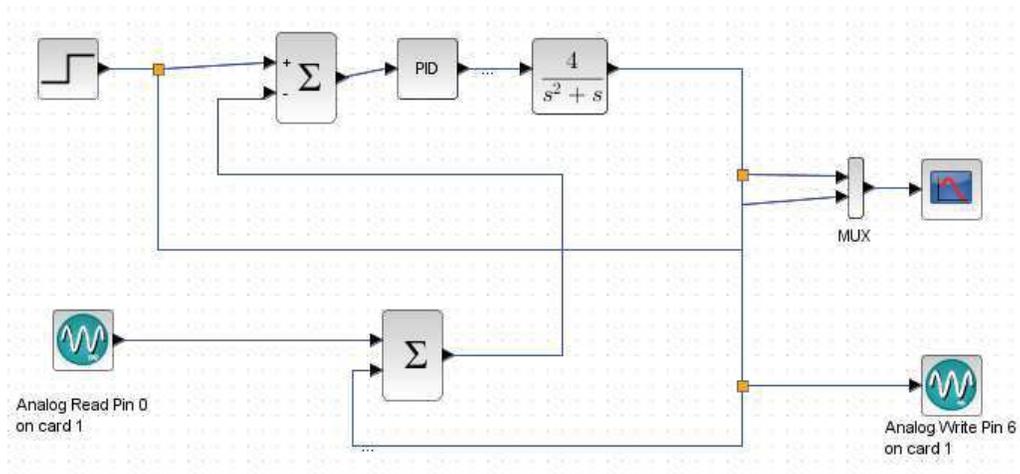


Figura 3.4.6. Diagrama PID de temperatura.

Utilizamos una salida y entradas análogas, la salida es por PWM por sus siglas en inglés Modulation With Pulse que significa modulación de ancho de pulso.

En este proyecto controlamos la temperatura de un aviente cerrando, la idea es que genera calor y el sensor Lm35 mida la temperatura, cuando llega a altas temperaturas un ventilador de 12v se enciende para hacer circular el exceso de calor, el problema surge al hacerlo on/off, que dependiendo de la diferencia que haya este tome una decisión, ejemplo, si la diferencia es muy grande las revoluciones por minuto (RPM) del ventilador sea mayor, pero si la diferencia es mínima que las RPM sea pequeña por lo que con un control automatizado utilizando como interface el Arduino Uno, para realizar el control de manera más fácil y observar la interpretación a través de gráficas utilizamos el micro de la computadora pues se requiere de procesos que saturarían la memoria del Arduino.

El sensor **LM35** el cual se muestra en la figura 3.4.7 y 3.4.8 mide temperaturas de 55°C a 150°C y una precisión de 0.5°C a 25°C; este sensor es suficientemente completo, se puede utilizar para realizar pequeños inventos o proyectos y que pueden ser realizados en casa.

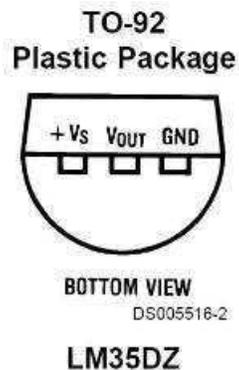


Figura 3.4.7. Esquema del sensor

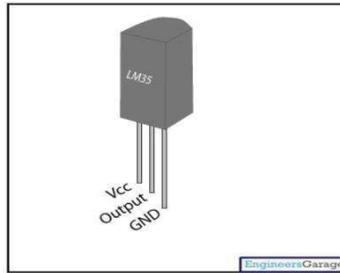


Figura 3.4.8. Conexiones para el sensor *lm35*.

#### 4. Conclusiones

En conclusión, el desarrollo de este proyecto facilita las operaciones al monitorear constantemente factores físicos y en tiempo real lo que está sucediendo en nuestro ecosistema, es una programación muy legible y fácil de comprender, además, el software es de uso libre y los operarios o cualquier otra persona podrá crear sus propios programas personalizados, como se observó, para algunos sensores es muy fácil su programación, pero, podría mejorar si el usuario quiere de la misma manera controlar la humedad y luminosidad con un PID independiente, se realizó un prototipo el cuál arrojó resultados favorables, sin embargo se propone una mejora en el diseño, hasta ahora solo arroja resultados de iluminación y humedad en tiempo real.

También se señala que la velocidad en la que trabaja el Arduino Uno es de 16bps y para una mayor velocidad también se recomienda una tarjeta Arduino MEGA que tiene el doble de velocidad, que en algunos casos el sistema tardaba en hacer los procesos que se indican.

#### Referencias

- [1] Shahid N, Chair, F.S. Chapin III, Ehrlich P, Golley F, Hooper D, Lawton J, O'Neill R, Mooney H, Sala O, Symstad A, y Tilman D, "*Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes*" num. 4.
- [2] R. O. G. R, "Diseño e Implementación de Talleres para la Enseñanza y Aprendizaje del Algebra Matricial y Solución de Sistemas de Ecuaciones Lineales con SCILAB," Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Colombia, 2012.
- [3] S. Enterprises, "Xcos for very beginners," ed, 2013.
- [4] W. Klaus, "Scicos Serial-Interface-Block Manual 12.05 (pre-Alpha)," ed, 2012.
- [5] CACHEMBE.ORG, "Introducción a Xcos (Scilab)," ed.
- [6] G. Skiba, "Rapid control Prototyping with Scilab/Scicos/RTAI For Pc-Based and ARM-Based Platforms," vol. 3, T. Zabinski, Ed., ed: Proceeding of the IMCSIT, 2008.
- [7] Simon M., *30 Arduino Projects For The Evil Genius*, 2010.
- [8] Armenteras D, González T, Vergara L, Luque F, Rodríguez N, Bonilla M, "Revisión del concepto de ecosistema como "unidad de la naturaleza" 80 años después de su formulación, vol 25, No 1, *Ecosistemas* 25(1): 83-89. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-1.12

# Cap.8 Dispensador Automático de Alimento Seco para Mascotas Caninas

Martínez Rodríguez, Alberto; Cano Lara, Miroslava; Chagolla Sandoval, Felipe de Jesús; Santos Calderón, Juan Carlos

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

## Resumen

*En éste trabajo se diseñó y construyó un dispensador de alimento para mascota con sensado y alarma de nivel de alimento. El aparato permite al usuario ingrese la edad y el tamaño del animal, para determinar la porción de alimento que va a ser suministrada. Consiste en un contenedor de alimento, un extractor en forma de tornillo de Arquémedes, y un módulo de control electrónico empleando un microcontrolador.*

**Palabras clave:** Microcontrolador, sistemas de tiempo real, comedero automático.

## 1. Introducción

La tarea de alimentar a una mascota no es siempre una actividad que se cumpla al pie de la letra; ya sea por olvido, trabajo, ausencia u otro factor imprevisto por parte de la persona encargada de hacerlo. Así mismo, es posible desconocer la cantidad de alimento y la frecuencia ideal de acuerdo a las características del animal.

De acuerdo a las investigaciones sobre dietas para perros se han obtenido los siguientes datos: Un perro cachorro de 2 a 5 meses debe adquirir comida cuatro veces al día, y la cantidad que se le debe proporcionar se calcula al multiplicar el peso del perro por el 15%, así que un perro que pesa alrededor de 10 Kg debe obtener 1.5 Kg de comida, repartida en 4 porciones de 375 gr. A un perro en etapa adulta se le debe dar una porción relacionada al 3% o 4% de su peso, por lo tanto un perro de 25 Kg debe consumir un aproximado de 0.75 Kg o 1 Kg, cantidad repartida en 2 porciones [1-3].

Una forma idónea de evitar éste tipo de contrariedades, omisiones o errores; es evitar el factor humano. Esto significa que una persona ya no será responsable de suministrar alimento a la mascota en cantidad y horario correctos. Una máquina, en cambio, actuará siempre oportunamente, en tiempo y forma que se necesite.

Los modelos comerciales que existen en el mercado, en su mayoría son de dimensiones pequeñas. Ésta característica reduce el número de tipos de perros con los cuales se puede usar, ya que un perro grande no podría ser alimentado más que unas cuantas veces. Esta característica es una de las cuales se mejora en este proyecto, otra característica es la funcionalidad, es decir, que el producto a diseñar tenga la capacidad de estar presente en cualquier medio ambiente; así como estabilidad en un ambiente de perros inquietos [4].

En éste contexto, para reducir la altura del dispositivo, se prueba la extracción del alimento mediante un tornillo de Arquímedes que parte desde el fondo del contenedor. El tornillo de Arquímedes, es una máquina gravimétrica helicoidal utilizada para la elevación de agua, harina, cereal o material excavado [5], como se ve en la figura N° 1.

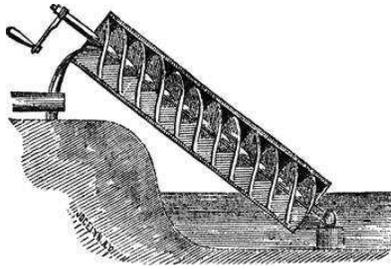


Figura 1. Ejemplo de un tornillo de Arquímedes [5].

## 2. Metodología

El comedero automático se diseña con el objetivo de mantener un bajo costo para que las personas puedan adquirirlo de manera sencilla y económica, se tomará en cuenta que se debe realizar con materiales resistentes ya que estará en pleno contacto con las mascotas, las cuales, pueden reaccionar de una manera agresiva ante su presencia. Esta estructura debe tener un tamaño adecuado, para que pueda ser colocada en cualquier sitio de la casa o departamento, así mismo, debe contar con la capacidad de almacenamiento suficiente. El alimento debe durar el tiempo en el que los propietarios se mantengan fuera de la casa o no puedan alimentar a sus mascotas.

Las dimensiones del contenedor diseñado son, 50cm X 30cm X 30cm. Dentro del contenedor se encuentra un tornillo de Arquímedes, el cual, se encarga de transportar la comida desde la parte más baja hasta la altura del orificio de salida. Además, el fondo del contenedor presenta una pendiente para que la comida siempre resbale hacia donde se encuentra el tornillo. En total, la capacidad permite aproximadamente contener hasta 7 u 8 Kg aproximadamente.

La estructura del contenedor está hecha de madera (MDF) ya que es resistente y económica, se recortan 6 tablas para formar la caja con las dimensiones mostradas en la figura N° 2, también se corta una pieza de acrílico con dimensiones de 40 x 30 cm para la tapa del contenedor. En el interior se encuentran 2 tablas de madera, una para proteger el motor y la otra para dar una inclinación al alimento para que se deslice hacia el tornillo y pueda ser transportado por éste.

La interfaz de usuario consiste en una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), y un teclado numérico. Se incorpora un sistema de reloj en tiempo real para servir el alimento a la hora especificada, y que no se pierda la hora del día, en caso de una interrupción del suministro de energía. También incluye un indicador luminoso (LED) para bajo nivel de alimento.

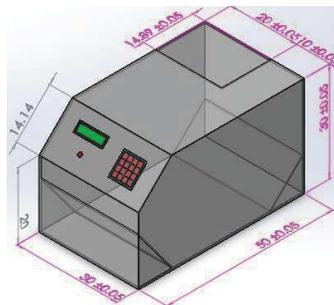


Figura 2. Dimensiones exteriores del dispensador.

## 2.1 Recursos

Para el diseño de la estructura física del modelo se utilizó software CAD; teniendo en cuenta el ángulo de inclinación que debe llevar el tornillo de Arquímedes, ya que cuanto mayor es el ángulo de inclinación el motor que lo hace girar debe tener un torque con un valor muy alto, esto a su vez demanda más corriente y existe la posibilidad que el motor falle realice el movimiento adecuado, por dicha razón el tornillo se coloca con un ángulo de 35°.

El teclado puede ingresar 4 diferentes valores a modo de comandos, cada uno registra una actividad diferente. La opción 1 envía la instrucción que configura la fecha en el reloj, no es posible introducir una fecha que contenga un valor mayor a 12 en el lugar correspondiente al mes, la opción 2 permite configurar la hora, al igual que la fecha; no es posible configurar la hora con valores mayores a 24 o 59 en horas, minutos y segundos según corresponde, la opción 3 indica al PIC el tipo de perro que es, pequeño (1), mediano (2) o grande (3), por último, la opción 4 está relacionada con el peso del perro, este valor se pide en Kg. Esta información se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.- Comandos del teclado.**

Tecla	Función
1	Ajustar Fecha
2	Ajustar hora
3	Tipo de animal
4	Peso del animal

La cantidad de alimento a entregar está directamente relacionada con el número de giros del tornillo de Arquímedes, por lo que el sistema de control determina dicha cantidad de acuerdo a la información que se le proporcionó por medio del teclado. Igualmente, el número de veces que se sirve alimento es determinado por el sistema. Los horarios de alimentación están prefijos a las 9h, 13h, 17h y 20h para un régimen de 4 veces al día. Y 11h, y 17h para régimen de 2 veces al día.

El dispensador de alimento tendrá un tornillo de Arquímedes que es movido por un motor de CD (corriente directa). El control electrónico está basado en un microcontrolador de la compañía Microchip. El modelo es PIC18F4550 o simplemente "PIC".

La programación del microcontrolador se elaboró en lenguaje C, utilizando una versión de prueba del compilador CCS®. El diseño del circuito en la placa fenólica fue realizado con la ayuda del software PROTEUS®.

El módulo de reloj es un circuito integrado DS1307 (RTC), que se comunica con el PIC por medio del protocolo de comunicación serial I2C.

Ya que el PIC18F4550 es de gama alta, tiene mayor rango de uso, en particular, el microcontrolador tiene mayor número de puertos. Esta característica permite al PIC controlar una pantalla LCD y leer un teclado matricial sin la necesidad de desconectar un dispositivo para utilizar el otro. Esta característica es llamada multitarea, otro de los recursos con los que el PIC cuenta es la comunicación RS232 y la comunicación I2C. La comunicación I2C está presente en el microcontrolador mediante los pines RC2 (SCL señal del reloj) y RC1 (SDA señal de datos) [6].

Al conocer las características del PIC seleccionado para el proyecto se debe establecer el número de entradas y salidas que el sistema requiere, los datos se muestran en la tabla 2.

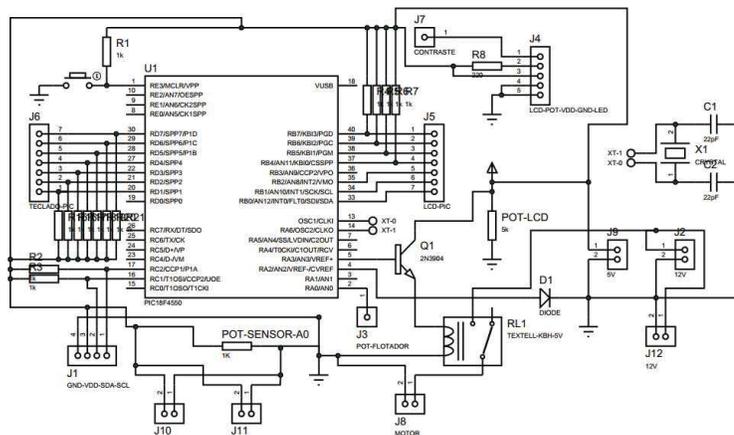
**Tabla 2.- Entradas y salidas.**

Entradas		Salidas	
Puerto	Uso	Puerto	Uso
Puerto D, (RD1-RD7)	Teclado matricial 3x4	Puerto A, (RA3)	Activación del motor
Puerto C, (RC1, RC2)	Comunicación con el Reloj en tiempo real DS1307	Puerto B, (RB0-RB2, RB4-RB7)	Pantalla LCD 16x2
Puerto A, (RA0)	Sensor de llenado	Puerto A, (RA2)	Alarma de contenedor vacío

El modelo propuesto dibujado en CAD, tendría la apariencia final mostrada en la figura N° 3a. Se aprecia el tornillo de Arquímedes desde el fondo del depósito de croquetas hasta la salida de alimento en la parte superior. También pueden apreciarse las tolvas para dirigir el alimento, la puerta de llenado en la parte superior; así con la interfaz de usuario (teclado y pantalla LCD). El sistema de control en su fase de prueba se puede apreciar en la figura N° 3b. De acuerdo a lo anterior se diseña en circuito de control con ayuda del software mencionado. La figura N° 4 muestra el resultado.



**Figura 3. a) Apariencia final del diseño en CAD del dispensador.  
 b) Circuito experimental de control del dispensador**



**Figura 4. Diseño del circuito de control del dispensador en CAD.**

Con ayuda del software de diseño electrónico, se realiza el diseño de las pistas mostrado en la figura N° 5. Al mismo tiempo, se puede generar una vista en 3D del diseño.

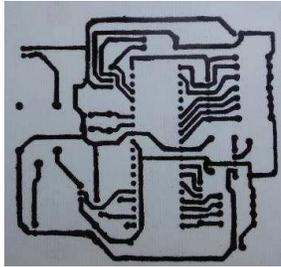


Figura 5a. Diseño de las pistas del circuito impreso.

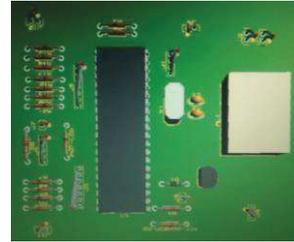


Figura 5b. Apariencia final del circuito impreso.

### 3. Resultados

Al implementar la técnica de diseño en CAD, diseño electrónico y programación del PIC, se obtuvo un sistema automático despachador de alimento para mascotas caninas. Con un tornillo de Arquímedes facilitó la cantidad adecuada necesaria para cada mascota. Al contar con una unidad de control del día, el canino podrá alimentarse en relación con los datos introducidos al sistema. En la figura N° 7, se muestra el dispensador con sus partes.

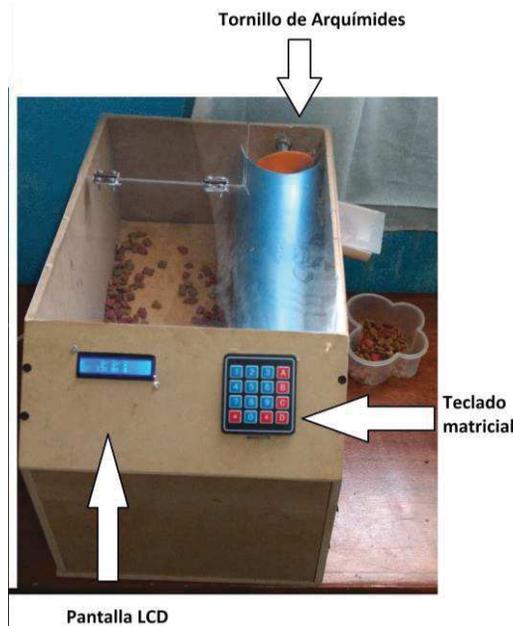


Figura 7. Vista superior del sistema.

## 4. Conclusiones

Se considera mejorar el diseño sustituyendo la madera por un material más ligero, que sea impermeable para que pueda estar a la intemperie sin dañarse. Además, la placa se va a rediseñar para disminuir sus dimensiones y que el espacio del contenedor sea mayor, además, se desea incluir el uso de la memoria EEPROM en el sistema de control para almacenar los datos ingresados por el usuario y poder elegir entre varias opciones posibles. Además de esto, una importante mejora sería incluir la entrega de agua, es necesario cambiar el diseño y adaptar un contenedor para el líquido, el programa debe ser rediseñado también y se debe incluir un nuevo componente electrónico, puede ser una válvula de accionamiento eléctrico que permita el flujo del agua, la cual, estará conectada directamente al tanque de agua y será activada por un impulso eléctrico proveniente del PIC.

## Referencias

- [1]. *Animales de compañía*. Microsoft® Encarta® 2006 [DVD]. Microsoft Corporation, 2005. Microsoft ® Encarta ® 2006. © 1993-2005 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- [2]. "*Perro doméstico*." Microsoft® Encarta® 2006 [DVD]. Microsoft Corporation, 2005. Microsoft ® Encarta ® 2006. © 1993-2005 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- [3]. C. Mitofsky, «*México: Las mascotas en nuestros hogares*,» Abril 2014. [En línea]. Available: [http://consulta.mx/web/images/MexicoOpina/2011/20110427\\_NA\\_Mascotas.pdf](http://consulta.mx/web/images/MexicoOpina/2011/20110427_NA_Mascotas.pdf). [Último, acceso: 15 Abril 2016].
- [4]. Mercado libre de Irapuato, Comedero Dispensador Automático Para Mascotas Perros Gato, [http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-563436004-comedero-dispensador-automatico-para-mascotas-perros-gato-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-563436004-comedero-dispensador-automatico-para-mascotas-perros-gato-_JM), Último, acceso: 10 Mayo 2016.
- [5]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2016, "Tornillo de Arquímedes", [https://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo\\_de\\_Arqu%C3%ADmedes](https://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo_de_Arqu%C3%ADmedes), Último, acceso: 5 Junio 2016.
- [6]. García E., *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC*, Editorial Alfaomega-Marcombo, México, Primera Edición, 2008

# Cap.9 Rediseño de las Estaciones de Trabajo en una Empresa del giro Médico Utilizando Herramientas de la Manufactura Esbelta

Soto Valenzuela Francisco Javier, Bórquez Medina Cecilia Ivette, Murataya Berrelleza Juan Jesús, Ramírez Cárdenas Ernesto, Caraveo García Yadira Daniela

Instituto Tecnológico de Sonora Campus Guaymas

## Resumen

*Hoy en día la industria es uno de los tópicos de mayor auge en el mundo, ya que día a día la manufactura va avanzando junto con la tecnología, y cada vez, la demanda aumenta y la necesidad de productos de buena calidad es indispensable para la supervivencia del ser humano, de ahí la importancia de tener un enfoque de procesos y el apoyo de herramientas de ingeniería industrial. Este proyecto de mejora fue realizado en una empresa médica, en productos que son utilizados para combatir la aneurisma, llamados “Stent graft”. Se involucraron dos indicadores importantes en este proyecto son la producción diaria, y el RTY, que es el porcentaje de piezas retrabajadas, el objetivo disminuir en un 10% el RTY e incrementar la producción diaria en un 20 %. Se utilizó metodologías combinadas de [6], [7] y [8], para aplicación y desarrollo de las herramientas de la manufactura esbelta. Durante la recopilación de datos fue necesario utilizar distintos tipos de tablas de apoyo para el estudio de tiempos, así como llevar a cabo diagramas de operaciones de procesos de los distintos producto. Para mejor identificación de cuellos de botellas, fue de gran ayuda el método de balanceo de operadores (OBC), ya que es una herramienta gráfica donde se identifican las actividades de cada proceso, considerando el takt time requerido y así identificar la causa raíz, para saber qué actividades o tareas se pueden combinar, la cantidad de operadores que se necesitan y el flujo adecuado para producción de dichas líneas. Una vez detectada la problemática se realizó una nueva configuración de las líneas, las cuales resultaron ser de forma lineal, con menos operadores para las estaciones, y con un flujo más rápido en cuanto a producción. Para mejorar el indicador del RTY, se llevó a cabo entrenamiento en la línea de producción, elaborando una hoja de trabajo estándar con las indicaciones específicas para la realización de la operación, enfocándose en la estación con mayor índice de piezas rechazadas. Los resultados obtenidos del proyecto son muestran una mejora del 24% para el RTY ya que los operadores con la ayuda visual en cada estación de trabajo y el entrenamiento dado, se familiarizaron con la operación, y terminaban la pieza a tiempo sin necesidad de retrabajar y del 22% para la producción del área. Como conclusión queda establecido que el uso adecuado de las herramientas de manufactura esbelta aplicadas a cada caso en específico, logra generar una mejora importante y darle solución al problema analizado, como fue en este proyecto.*

**Palabras clave:** Mejoramiento, Eficiencia, Manufactura esbelta

## 1. Introducción

En la actualidad existe un sinnúmero de enfermedades que atacan la salud de las personas y conforme pasa el tiempo siguen apareciendo más, por tal motivo es deber del ser humano adaptarse al cambio y adquirir dispositivos que lo ayuden a sobrevivir, es por eso que la demanda en la industria médica va en incremento, lo cual significa que no solo se debe producir más, si no que se deben realizar productos cada vez de mayor calidad y eficiencia para contrarrestar los riesgos que amenazan a la vida del paciente [1]. Un sector de máxima importancia es el de la industria médica, ya que al ser productos que interactúan directamente con la vida del ser humano, se necesita de buenas prácticas

para así poder cumplir con las necesidades de los clientes, siguiendo estrictamente sistemas de gestión de calidad, mejora continua, medibles de desempeño, entre otras herramientas de ingeniería industrial.[1].

El diseño industrial es una disciplina dirigida a la solución de problemas y mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios a través del desarrollo de producto y servicios, supliendo necesidades de vida cotidiana mediante respuestas funcionales. [2]. Una de las áreas principales de la industria es la médica, un giro el cual además de cubrir con las necesidades de los seres humanos, va dirigido a la adaptación y cuidado de las vidas humanas en el mundo. [1]

En la última década el sector de dispositivos médicos en México ha presentado un crecimiento acelerado y estable, partiendo del desarrollo de capacidades de manufactura por parte de las empresas de auge en el sector, las cuales han encontrado en el país un socio clave para inversiones y desarrollo de negocios, lo cual a su vez ayuda a impulsar al país económicamente. México se ha convertido en uno de los principales proveedores de equipo médico para el mercado más importante del mundo: Estados Unidos. [3].

El proyecto se realizó en Empalme Sonora, en una empresa de giro médico, la empresa se dedica a manufacturar productos endovasculares, siendo más específicos, Stent Graft, el cual es un tubo compuesto de tejido soportada por una tela especial con anillos a su alrededor, junto con una serie de marcadores distintivos, tal y como se muestra en la Figura 1. Estos dispositivos son utilizados para combatir una enfermedad llamada aneurisma. [4].

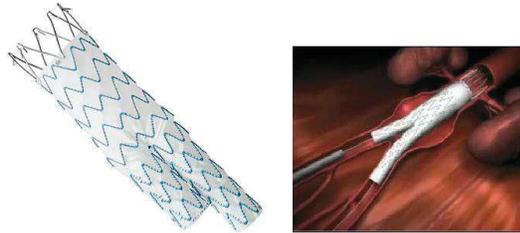


Figura 1. Imagen de Stent Graft y su función en el cuerpo. [5]

El estudio se llevo a cabo en el área de costuras dentro del CEA (Controlled Environment Area) de la empresa, en donde se manufacturan distintos tipos de familias de Stent Graft. Los procesos en los que se enfocará el proyecto serán los de Endurant II, y Endurant II's los cuales manejan 3 y 2 líneas de producción respectivamente, de la familia Endurant.

El proceso de Endurant II consta de una serie de costuras alrededor de anillos sobre una tela, el número de anillos depende de la longitud de la pieza, varían entre 8, 11, 14 y 18 anillos, además de estos se realiza la operación de finish en la cual se coloca un anillo expuesto a la tela, junto con unos marcadores distintivos.

A diferencia de Endurant II, el proceso de Endurant II's parte de una operación llamada contorno en donde se cose un anillo alrededor de dos piernas, una corta y una larga, las cuales son llamadas bifurcaciones, seguido de 3 anillos llamados cuerpos y un sello cosidos sobre la tela, además de 7 anillos internos y 1 externo, para terminar en el proceso de finish en el cuál se coloca un anillo expuesto y una serie de marcadores distintivos.

En ambas operaciones se realiza un proceso preliminar llamado kitteo (kitting), en donde se realizan los kits para cada orden, se acomodan el número de anillos que se van a coser, así como la tela que llevará el stent graft, además de incluir el hilo que se va a utilizar durante el proceso (hilo para anillos e hilo para marcadores), todo controlado por número de parte de cada pieza, se introduce todo a la bolsa con su hoja de identificación y se reparte a cada líder de línea para su posterior fabricación.

Tal como se ha mencionado anteriormente se manejan 3 líneas de manufactura en el producto Endurant II y 2 líneas en el Endurant II's y el indicador de producción de éstas se mide por separado respectivamente, a continuación se presentan las variaciones existentes con respecto al producto Endurant II en el periodo de Agosto-Diciembre 2015 en la Figura 2.

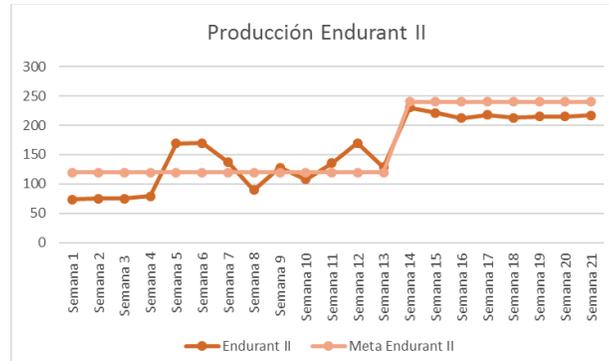


Figura 2. Producción Endurant II. Fuente: Elaboración propia.

Al observar la gráfica anterior se destaca una variación significativa en cuanto a la producción semanal, ya que en la mayoría de las semanas no se cumplió con la meta establecida por planeación, cabe destacar que la demanda bajó por requerimientos del cliente a partir de la semana 14, por tanto, en las semanas restantes la producción estuvo más cercana a la meta. Así mismo se tiene la variación por parte del producto Endurant II's, mostrado en la Figura 3.



Figura 3. Producción Endurant II's. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se muestra la variación de la producción con respecto a la meta de la empresa del producto Endurant II's, teniendo en cuenta que en la semana 14 se redujo la meta en un 17.85% por requerimientos del cliente, iniciando desde la primera semana del mes de Agosto, y terminando hasta la última semana de Diciembre. Se destaca que solamente en dos semanas se ha llegado a la meta, por lo que se demuestra que el flujo de producción no es el adecuado para satisfacer la demanda.

En la empresa bajo estudio se maneja un indicador significativo para ésta, el cual es llamado RTY por sus siglas en inglés (Rolled Throughput Yield) lo que significa que es la probabilidad de producir cero productos defectuosos a través de todo el proceso, a continuación, se muestra la Figura 4, en la cual se puede observar el comportamiento de dicho indicador durante el periodo Agosto-Diciembre 2015 de la familia Endurant.

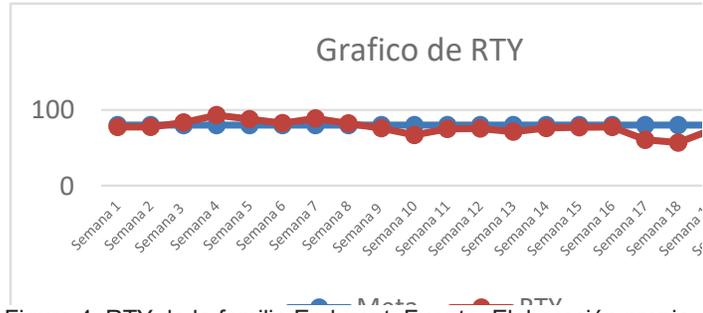


Figura 4. RTY de la familia Endurant. Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica anterior se observan los bajos índices de RTY, lo que significa que se acumulan muchas piezas durante los turnos que se tienen que re-trabajar, y en lugar de que el operador esté produciendo, está trabajando en piezas que debieran estar listas, lo cual representa un desperdicio para la empresa, además de ir ligado directamente con el rendimiento de producción y el tiempo en que el trabajador realiza sus actividades. A continuación se muestra a manera general los re-trabajos de esta familia en la Figura 5

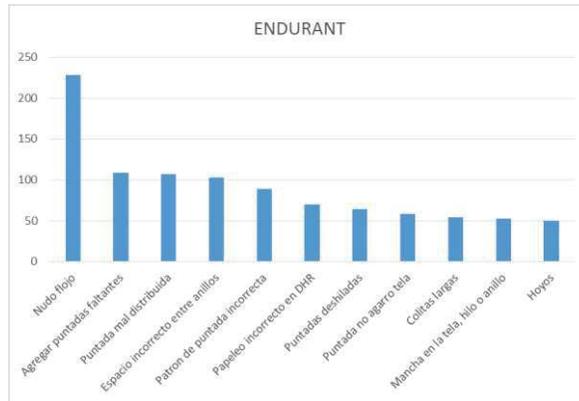


Figura 5. Contribuidores del RTY de la familia Endurant. Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en la Figura 5, existen distintas actividades contribuidoras a que las piezas sean re-trabajadas, por ejemplo nudos flojos, patrón de puntada incorrecta, el espacio incorrecto entre anillos, agregar puntadas faltantes, puntada mal distribuida, puntadas deshiladas, puntadas erróneas, recorte deshilado, papeleo incorrecto de DHR, estas estadísticas fueron tomadas de 1 mes atrás al estudio.

Otro factor que se va a analizar es el tiempo de ocio de los operadores, ya que al haber operadores con distintas habilidades, unos trabajan demasiado rápido y tienen tiempo en que no están produciendo lo cual también es un desperdicio que vale la pena recalcar. El supervisor de las líneas mediante inspección visual, detectó que los trabajadores tenían alrededor de 80 minutos en tiempo de ocio, por lo que las líneas estaban desbalanceadas.

Los indicadores considerados en este proyecto como son la producción y las piezas retrabajadas, tienen como generación del problema los cuellos de botellas y tiempos de ocio del operador, los cuales no soportan la demanda actual de los requerimientos del cliente, lo que lleva a identificar la causa raíz como una mal balanceo de línea en relación a las actividades o tareas de los procesos. Por tal motivo, se plantea la pregunta ¿Se podrá cumplir con la meta establecida con ayuda de la aplicación de herramientas de manufactura esbelta?

El objetivo de este proyecto es optimizar y mejorar el proceso de fabricación del producto Endurant con herramientas de Manufactura Esbelta para incrementar en un 20% las piezas producidas y reducir en un 10% las piezas retrabajadas. Una de las prioridades de las empresas es generar utilidades por lo que el tiempo de producción es de suma importancia ya que es cuando el trabajador genera valor a la empresa, teniendo esto en cuenta, cuando los tiempos de ocio o tiempos muertos se presentan, así como generar pérdidas a las organizaciones, es cuando surge la importancia de tener bien balanceadas las líneas de producción.

El estudio será enfocado al área de costuras, donde se realizan productos de la familia Endurant, específicamente en las líneas D, E, F, G y H las cuales manufacturan productos del proceso Endurant II y Endurant II's. Dicho proceso abarca desde el Kitting hasta el Finish que es donde se termina la pieza y se da los detalles finales para mandar al proceso de calidad. En el proceso se manejan piezas con diferente número de anillos, dependiendo de la longitud son los anillos que se cosen, varían desde 8, 11, 14 y 18, en Endurant II, las piezas en las cuales se realizará el estudio serán los de 14 anillos, ya que éste es un número de demanda promedio, tomando en cuenta que a la línea se mandan mezclas de piezas, se busca que la línea sea flexible a la hora del kitteo. En cuanto a las piezas de Endurant II's se realizan por procesos, cada pieza lleva 13 anillos, conformados por 1 contorno, 3 cuerpos, 1 sello, 7 internos, 1 externo, y finish.

Las limitaciones para el estudio son las restricciones que maneja la empresa debido a las políticas de confidencialidad, por lo que no se podrá tomar fotografías de ningún tipo, no se podrá tener acceso a documentos restringidos, el tiempo que se dedica a las actividades correspondientes al estudio ya que se realizan tareas exclusivas para la empresa que no tienen que ver con el presente proyecto. Otra limitante es el tiempo en el cual se llevara a cabo el estudio, ya que solo serán 4 meses.

Es importante que la empresa lleve a cabo entrenamientos periódicos sobre las actividades que llevan a cabo diariamente, esto con el fin de que no tener en la llamada "ceguera de trabajo" y que el trabajador aporte mejoras al área ya que al ser ellos los que están en el proceso deben adoptar una cultura de mejora continua, y así mantener un ambiente de trabajo en equipo.

## 2. Metodología

Para el procedimiento se siguió una metodología combinada de tres autores, [6], [7] y [8], en los cuales se tomaron distintas herramientas tanto de estudio de métodos, como de manufactura esbelta y análisis de causa y efecto, teniendo su base en el estudio de los métodos de trabajo el cual consiste de seis pasos descritos en la Figura 6. Se muestran los pasos a seguir de la metodología en conjunto con las herramientas y actividades a desarrollar en cada uno de ellos.

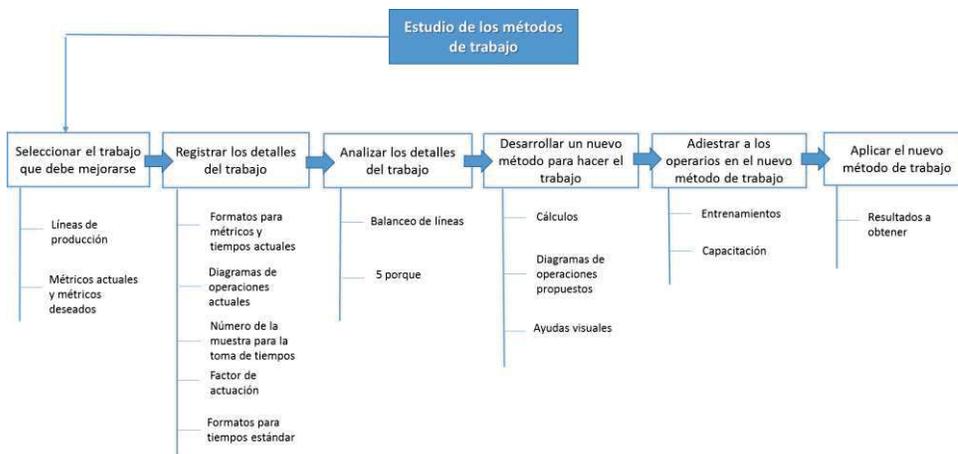


Figura 6. Diagrama de metodología a emplear. Fuente: Elaboración propia.

## 2.1. Seleccionar el trabajo que debe mejorarse

En el primer paso para el desarrollo de la metodología, se debe de seleccionar el trabajo que debe mejorarse, esto se logra en conjunto de una investigación de los métricos manejados dentro la empresa con respecto a las líneas de producción enfocadas, seguido de registrar los detalles del trabajo con sus respectivas actividades, donde se aplicaran herramientas básicas de calidad, seguido de analizar los detalles del trabajo, donde se aplican las herramientas de causa y efecto, después desarrollar un nuevo método para el trabajo, donde se aplican herramientas de manufactura esbelta, terminando con el adiestramiento de los operarios y la aplicación del método.

## 2.2. Registrar los detalles del trabajo

Mediante la observación visual de las líneas de producción del CEA de la empresa médica en la cual se está desarrollando el proyecto, y con ayuda de la recaudación de información de los métricos utilizados, se podrá seleccionar el trabajo a mejorar. Para registrar los detalles del trabajo, según [6], se debe saber exactamente en qué consiste. Excepto en el caso de trabajos muy simples y cortos, rara vez se conocen todos los aspectos de un trabajo, por ello se debe registrar por observación directa, es decir, no se puede confiar en la buena memoria. En este proceso incluye la toma de tiempos usando el método tradicional.

## 2.3. Analizar los detalles del trabajo

Según [7] una vez registrados todos los detalles de que consta el trabajo, el siguiente paso es analizarlo los detalles del trabajo para ver qué acciones de pueden tomar. Para la implementación de mejora de este proyecto se realizará un balanceo de líneas, según [8] para la realización del balanceo de líneas, se debe iniciar un análisis del estado actual del proceso. La mejor herramienta para esta actividad es la gráfica del balanceo de operadores (Operator Balance Chart, OBC), el cual es una representación de los elementos de trabajo, el tiempo requerido y los operadores de cada estación. Se usa para mostrar las oportunidades de mejora visualizando cada tiempo de operación en relación con el Takt Time y el tiempo de ciclo total. [8]

En esta etapa se usará la técnica de 5 porqués, la cual es una herramienta de análisis para encontrar relaciones entre causas y efecto, para determinar a causa raíz y encontrar la solución del problema. Se utilizo esquema de la técnica. [9]

## 2.4. Desarrollar un nuevo método para hacer el trabajo

Para desarrollar un método mejor para ejecutar el trabajo, [7] dice que es necesario considerar las respuestas obtenidas, las que pueden conducir a tomar las siguientes acciones: Combinar, Eliminar, Cambiar, Cambiar y Reorganizar Simplificar. Una vez que se haya modificado el trabajo analizado, se mostrará gráficamente a través de la herramienta OBC y con diagramas de operaciones futuros para corroborar que el método propuesto sea adecuado y cumpla con el objetivo principal de la investigación, esto con el fin de que la producción de los productos Endurant se sigan manufacturando con el flujo de proceso propuesto.

Para continuar con la realización del desarrollo se implementará un sistema de ayudas visuales con el fin de que el operador tenga a su alcance los nuevos métodos de trabajo en las estaciones del proceso de las líneas del producto Endurant, para esto se basará en el procedimiento para implementar ayudas visuales de acuerdo con [6], el cual empieza por decidir qué información se tiene que dar a conocer y a quién va dirigida, seguido de crear la ayuda visual, que en este caso será una hoja de trabajo estándar en cada estación.

## 2.5. Adiestrar a los operadores en el nuevo método de trabajo

Antes de implementar una mejora es necesario tener la seguridad de que la solución es práctica de acuerdo con las condiciones de trabajo en que va a operar. Por lo que se tiene que adiestrar a los

operadores en el nuevo método de trabajo. Para adiestrar a los operadores en el nuevo método de trabajo se tomará una extracción de la metodología TWI, que según [10], sin restarle importancia al resto de sus programas, se debe enfocar en el más importante, que es el que va destinado a la instrucción rápida de los operarios. En este modelo, para cada una de las operaciones se deben seguir cuatro pasos, los cuales son: decir lo que se va a hacer, mostrar cómo se hace, hacer que el operador lo haga, y evaluar cómo actúa el operador.

## 2.6. Aplicar el nuevo método de trabajo

Para la aplicación del nuevo método se debe dar de alta el documento (hoja de trabajo estándar) que se establecerá en cada estación, se deberá generar un Change Order (CO, por sus siglas en inglés), el cual pasa por una serie de fases de verificación previa, ya que todos los miembros involucrados revisan los documentos que se requieren implementar y se hacen correcciones cuando sean necesarias, así como aprobaciones, y manejo del sistema de documentos

# 3. Resultados

A continuación de muestras los resultados de las actividades generadas mediante el estudio de los métodos de trabajo mediante seis pasos.

## 3.1 Selección del trabajo que debe mejorarse

El trabajo que debe mejorarse se enfoca a dos líneas de producción, Endurant II y Endurant II's, las cuales pertenecen a una familia de productos llamados Endurant, estas trabajan con un flujo de producción en forma de "U", lo que conlleva a un acumulamiento de material en proceso y por consecuente un mal flujo entre las estaciones de trabajo. Un factor importante en cuanto a flujo de producción, es el tiempo perdido por parte del trabajador, lo que se puede traducir en tiempo de ocio o también tiempo de retrabajos, el cual es un indicador (RTY) significativo con respecto al rendimiento de las líneas en cuanto a producción diaria, lo que contribuye a que se presenten defectos en las piezas, y estas tengan que ser re trabajadas en distintas partes del proceso. A continuación se presenta la Tabla 1 con los métricos actuales del estudio y los que la empresa tiene como meta para sus procesos.

Tabla 1. Métricos de la empresa bajo estudio. Fuente: Elaboración propia

Indicador	Actual	Meta
Producción Endurant II	89.8%	100%
Producción Endurant II's	82%	100%
RTY Endurant	70.4%	80%

## 3.2. Registrar los detalles del trabajo

Después de haber seleccionado el trabajo a mejorar, se inició la investigación de los métricos que maneja la empresa y tomando indicadores de semanas atrás a la investigación, para registrar los detalles del trabajo. Es importante mantener registros en forma clara y concisa de todos los datos obtenidos, para un mejor control y organización de los mismos. Se recabaron datos de 21 semanas, para hacer mas fuerte el muestreo y tener mejor informacion. En la Tabla 2 se muestran los índices de RTY diarios de 21 semanas, ya que es uno de los indicadores de mayor contribución para la producción diaria, se puede observar que no se cumple con la meta de establecida por la compañía, la cual es de un 80% de RTY en la mayoría de los días, y al tener tantas piezas para retrabajo, disminuye el tiempo de producción, lo que afecta a tal indicador.

Tabla 2. Formato para colocar indicador RTY de la familia Endurant.Fuente: Elaboración propia.

RTY Familia Endurant																			
Agosto'15			Septiembre'15			Octubre'15			Noviembre'15			Diciembre'15							
Meta (%)		RTY (%)	Meta (%)		RTY (%)	Meta (%)		RTY (%)	Meta (%)		RTY (%)	Meta (%)		RTY (%)					
Semana 1	80	83	Semana 5	80	90	Semana 9	80	84	Semana 13	80	71	Semana 17	80	79	Semana 21	80	72		
	80	77		80	87		80	82		80	74		80	77		80	74		
	80	80		80	87		80	69		80	65		80	49		80	49	80	71
	80	72.2		80	87		80	71		80	71		80	71		80	49	80	78
	80	75.8		80	88		80	74		80	76		80	49		80	49	80	76
<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>77.6</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>87.8</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>76</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>71.4</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>60.6</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>74.2</b>		
Semana 2	80	81	Semana 6	80	87	Semana 10	80	74	Semana 14	80	73	Semana 18	80	49		80	49		
	80	81		80	77		80	75		80	72		80	49		80	49		
	80	73		80	82		80	58		80	79		80	78		80	49		
	80	76		80	83		80	60		80	78		80	78		80	49		
	80	77.4		80	84		80	68		80	79		80	79		80	89		
<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>77.68</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>82.6</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>67</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>76.2</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>57</b>					
Semana 3	80	79	Semana 7	80	84	Semana 11	80	71	Semana 15	80	79	Semana 19	80	94		80	94		
	80	91		80	82		80	75		80	74		80	74		80	74		
	80	77.4		80	78		80	75		80	79		80	79		80	73		
	80	85		80	80		80	76		80	77		80	77		80	63		
	80	85		80	80		80	78		80	77		80	77		80	64		
<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>83.48</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>80.8</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>75</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>77.2</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>73.6</b>					
Semana 4	80	84	Semana 8	80	78	Semana 12	80	76	Semana 16	80	72	Semana 20	80	64		80	64		
	80	96		80	80		80	78		80	83		80	72		80	72		
	80	96		80	80		80	74		80	73		80	73		80	73		
	80	95		80	87		80	80		80	81		80	74		80	74		
	80	95		80	86		80	70		80	79		80	79		80	69		
<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>93.2</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>82.2</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>75.6</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>77.6</b>	<b>AVERAGE</b>	<b>80%</b>	<b>70.4</b>					

La tabla 3 muestra el comportamiento de número de piezas de la producción de la familia Endurant, se destaca con mayor producción en los primeros meses la línea de Endurant II's ya era la que tenía mayor demanda, pero en los dos restantes se destaca con mayor producción el producto Endurant II, como se puede ver, no siempre se tiene la producción diaria

Tabla 3. Formato para colocar producción de la familia Endurant. Fuente: Elaboración propia.

Producción Endurant II y II's																	
Agosto'15			Septiembre'15			Octubre'15			Noviembre'15			Diciembre'15					
II's		II	II's		II	II's		II	II's		II	II's		II	II		
Semana 1	25	14	Semana 5	25	40	Semana 9	28	19	Semana 13	19	43	Semana 17	24	50	Semana 21	25	41
	21	15		25	33		28	17		0	0		24	38		25	48
	22	15		24	33		28	19		0	0		28	34		23	50
	22	15		23	31		28	20		21	43		17	46		24	42
	24	15		25	32		50	53		22	43		28	50		24	49
<b>SUMA</b>	<b>114</b>	<b>74</b>	<b>SUMA</b>	<b>122</b>	<b>169</b>	<b>SUMA</b>	<b>162</b>	<b>128</b>	<b>SUMA</b>	<b>62</b>	<b>129</b>	<b>SUMA</b>	<b>121</b>	<b>218</b>	<b>SUMA</b>	<b>121</b>	<b>230</b>
Semana 2	22	15	Semana 6	26	34	Semana 10	23	18	Semana 14	20	45	Semana 18	27	44		27	44
	22	15		26	29		28	16		21	45		28	41		28	41
	20	15		27	22		25	18		15	42		28	30		28	30
	24	15		33	27		32	26		19	51		24	59		24	51
	23	15		53	58		30	30		19	47		24	51		24	51
<b>SUMA</b>	<b>111</b>	<b>75</b>	<b>SUMA</b>	<b>165</b>	<b>170</b>	<b>SUMA</b>	<b>138</b>	<b>108</b>	<b>SUMA</b>	<b>94</b>	<b>230</b>	<b>SUMA</b>	<b>131</b>	<b>225</b>			
Semana 3	24	15	Semana 7	32	18	Semana 11	32	23	Semana 15	17	51	Semana 19	24	51		24	51
	23	15		32	22		27	29		20	46		18	46		18	46
	20	15		26	24		23	30		22	47		24	39		24	39
	24	15		28	24		23	27		22	46		24	55		24	55
	23	15		49	49		24	27		19	47		24	56		24	56
<b>SUMA</b>	<b>114</b>	<b>75</b>	<b>SUMA</b>	<b>167</b>	<b>137</b>	<b>SUMA</b>	<b>129</b>	<b>136</b>	<b>SUMA</b>	<b>100</b>	<b>237</b>	<b>SUMA</b>	<b>114</b>	<b>247</b>			
Semana 4	22	15	Semana 8	28	26	Semana 12	23	21	Semana 16	22	51	Semana 20	23	57		23	57
	21	16		25	21		24	28		22	58		20	44		20	44
	13	16		32	15		23	29		22	56		24	58		24	58
	22	16		26	18		23	48		21	41		24	45		24	45
	18	16		16	10		23	44		25	42		20	40		20	40
<b>SUMA</b>	<b>96</b>	<b>79</b>	<b>SUMA</b>	<b>127</b>	<b>90</b>	<b>SUMA</b>	<b>116</b>	<b>170</b>	<b>SUMA</b>	<b>112</b>	<b>248</b>	<b>SUMA</b>	<b>111</b>	<b>244</b>			

La figura 7 muestran los diagramas de operaciones actuales, el cual se presenta con círculos por cada operación requerida para fabricar cada uno de los componentes, para armar un ensamble final y para empacar el producto terminado. Están incluidos todos los pasos de la producción, todas las tareas y todos los componentes. [11]

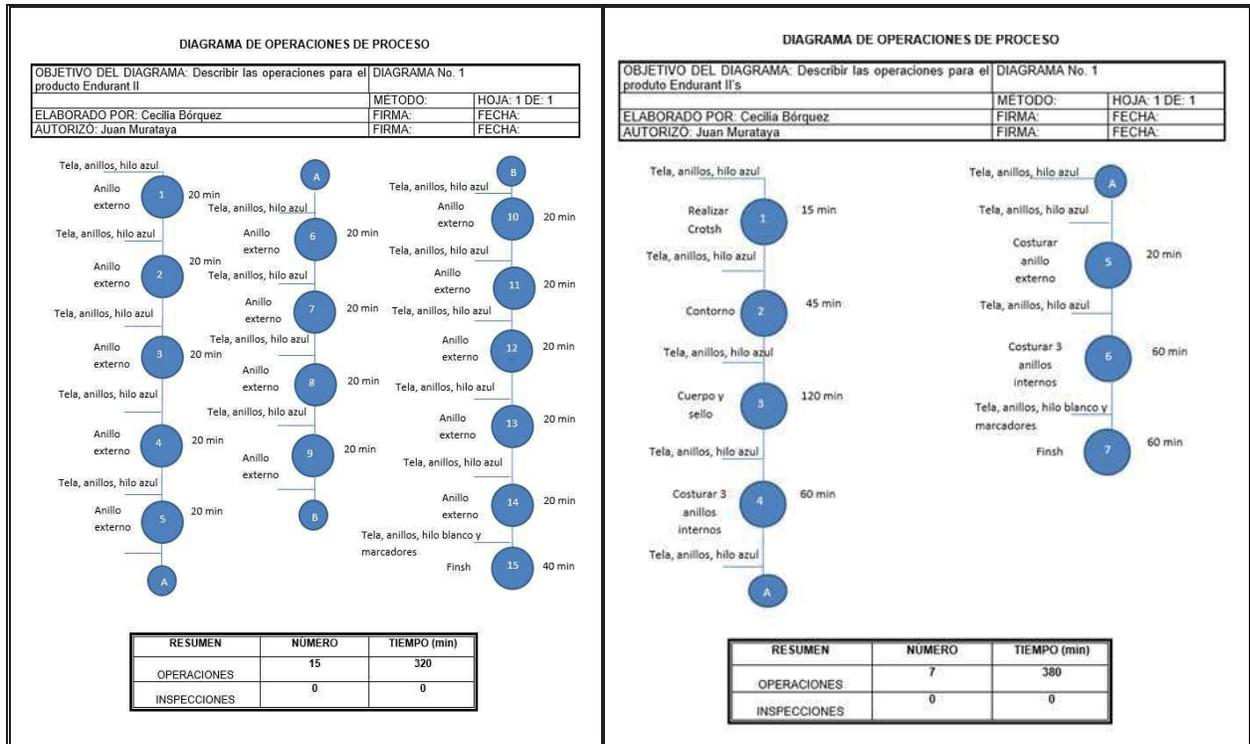


Figura 7. Diagrama de operaciones actual del producto Endurant II y Endurant II's. Fuente: Elaboración propia.

Para establecer los tiempos específicos en cada operación, se requiere determinar el número N de observaciones necesarias para el desarrollo del estudio y para esto se aplica el método tradicional para muestras del trabajo. Posteriormente al obtener las observaciones para cada estación de trabajo, se realizaron la toma de tiempos indicadas en el método tradicional, junto con el promedio para cada actividad y se colocaron en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Tiempos de las observaciones de Endurant. Fuente: Elaboración propia.

Actividad	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Promedio
Anillo Externo	15.03	14.07	16.24	15.38	14.58	11.19	<b>14.415</b>
Finish	31.02	32.08	30.45	27.89	30.08	31.45	<b>30.495</b>

Tabla 5. Tiempos de las observaciones de Endurant II's. Fuente: Elaboración propia.

Actividad	Tiempos						Promedio
Crotsh	13.09	7.22	10.37	10.01	9.65	4.34	6.91
	5.92	6.02	3.85	8.8	7.8	4.56	
	10.04	5.45	5.67	10.32	4.78	9.01	
	8.12	7.32	3.09	6.17	3.54	5.23	
	10.45	3.12	3.26	7.08	10.20	5.72	
	6.06	6.28	9.12	5.30	7.01	4.56	
	7.81	6.23					
Contorno	24.02	21.52	33.47	27.9	29.13	29.12	28.90
	31.08	32.21	27.63	32.91			
Cuerpo	21.87	20.69	22.16	20.26	21.51		21.30
Sello	21.75	23.99	22.12	24.2	25.77	23.54	23.47
	22.13	24.23					
Anillos Internos	17.01	19.7	15.39	16.71	18.88	17.16	17.92
	17.06	18	19.09	17.55	18.44	19.51	
	18.45						
Anillo Externo	16.59	17.02	18.06	17.06	12.8	13.85	14.91
	14.54	15.06	13.57	12.9	16.31	15.02	
	14.54	14.2	16.3	18.02	17.4	13.34	
	13.16	14.31	15.57	13.46	15.65	14.83	
	14.3	12.34	15.32	14.65	12.34	14.37	
Finish	47.56	44.05	41.29	47.84	40.4	42.32	43.60
	44.18	41.18					

Para determinar el tiempo estándar para las estaciones de trabajo, se debe obtener el factor de actuación con el criterio del método de nivelación, dichos detalles y cálculos realizados se muestran a continuación en la Tabla 6. Finalmente se multiplica el tiempo promedio de las actividades de cada estación por el factor de actuación y se obtiene el tiempo estándar, esto mostrado en las tablas 7 y 8.

Tabla 6. Determinación del factor de actuación. Fuente: Elaboración propia.

Factor de Actuación		
HABILIDAD	C1	0.06
ESFUERZO	D	0
CONDICIONES	B	0.04
CONSISTENCIA	D	0
<b>Suma</b>		<b>0.1</b>

Tabla 7. Determinación del tiempo estándar del producto Endurant II. Fuente: Elaboración propia.

Actividad	Tiempo Promedio	Factor de Actuación	Tiempo Estándar
Anillo Externo	14.415	10%	<b>15.857</b>
Finish	30.495	10%	<b>33.545</b>

Tabla 8. Determinación del tiempo estándar del producto Endurant II's. Fuente: Elaboración propia.

Actividad	Tiempo Promedio	Factor de Actuación	Tiempo Estándar
Crotsh	6.91	10%	<b>7.601</b>
Contorno	28.9	10%	<b>31.79</b>
Cuerpo	21.3	10%	<b>23.43</b>
Sello	23.47	10%	<b>25.817</b>
Anillos Internos	17.92	10%	<b>19.712</b>
Anillo Externo	14.91	10%	<b>16.401</b>
Finish	43.6	10%	<b>47.96</b>

### 3.4. Análisis de los detalles del trabajo

Se realizó un balanceo de líneas con ayuda del OBC (Operator Balance Chart), determinando primeramente el tiempo de ciclo actual y los elementos de trabajo. La figura 8 define claramente la discrepancia que existe entre tiempo de las costuras de anillos y el tiempo de la actividad llamada finish, también se muestra en dicha gráfica con una línea naranja el takt time para Endurant II y por último la configuración de la línea de producción destacándose en forma de "U", para Endurant II's.

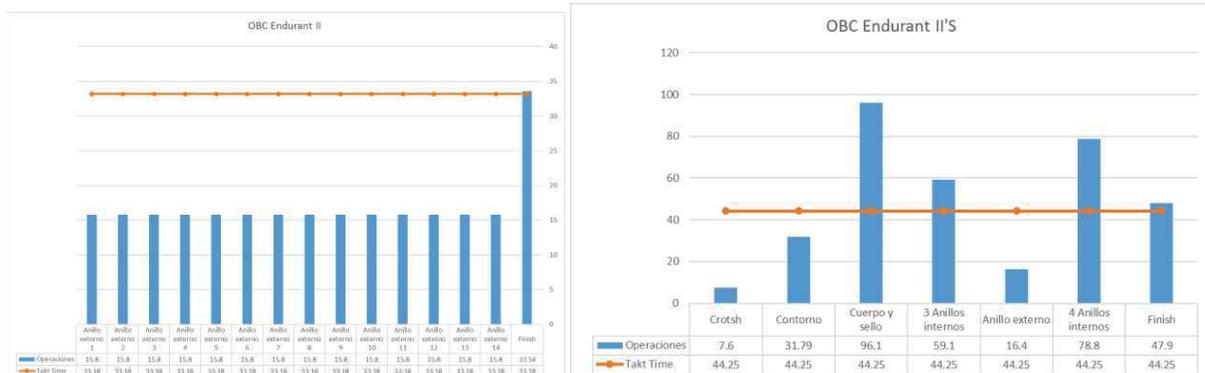


Figura 8. Gráficas de balanceo de operadores de Endurant II y Endurant II's actuales.  
Fuente: Elaboración propia.

Se desarrollo la técnica de 5 porqués, para así obtener la causa raíz y saber en dónde enfocarse y atacar de manera más efectiva hacia la solución, en la Figura 9 se muestra la realización de esta técnica. ar la solución mas efectiva, y cumplir efectivamente con el objetivo planteado en el proyecto, lo que se encontró en esta técnica es que las actividades no están distribuidas correctamente por operador, por tal motivo se pasará a desarrollar un nuevo método para realizar el trabajo.

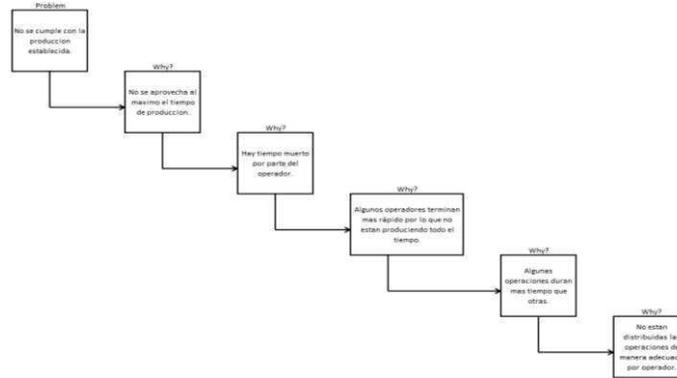


Figura 9. Técnica 5 porqués. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Desarrollar un nuevo método para hacer el trabajo

Para el desarrollo del nuevo metodo de trabajo se decidió combinar y simplificar actividades para que el flujo sea constante, esté balanceado y cumpla con el takt time de la empresa, y no exista tiempo de ocio por parte de los operadores, además de duplicar la demanda diaria.La figura 10 muestran las graficas de balanceo de las dos líneas.

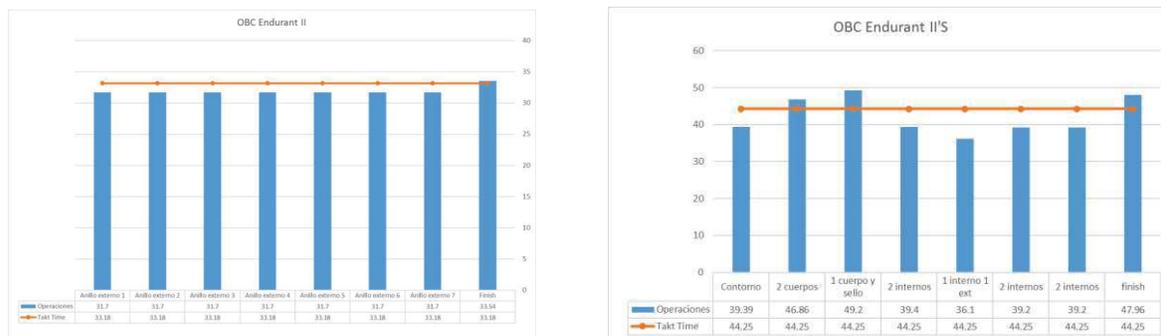


Figura 10. Gráficas de balanceo de operadores de Endurant II y Endurant II's propuestas.  
 Fuente: Elaboración propia.

Para atacar el mayor contribuidor del indicador RTY manejado por la empresa, el cual resulta ser el nudo flojo, en cada estación de trabajo se colocó una hoja de trabajo estándar, la cual sirvió como ayuda visual para dar indicaciones de esta actividad, el beneficio de esto es que el operador tenga a su alcance la forma correcta de realizar la operación para no generar retrabajos. La figura 11 se muestra paso a paso como es que se debe realizar la actividad de costuras de anillos al momento de realizar el nudo, claramente se muestra en las imágenes como es que se debe costurar, medir, tomar y jalar la aguja, para que este no quede flojo, y así la pieza siga con el flujo debido sin necesidad de ser retrabajada.

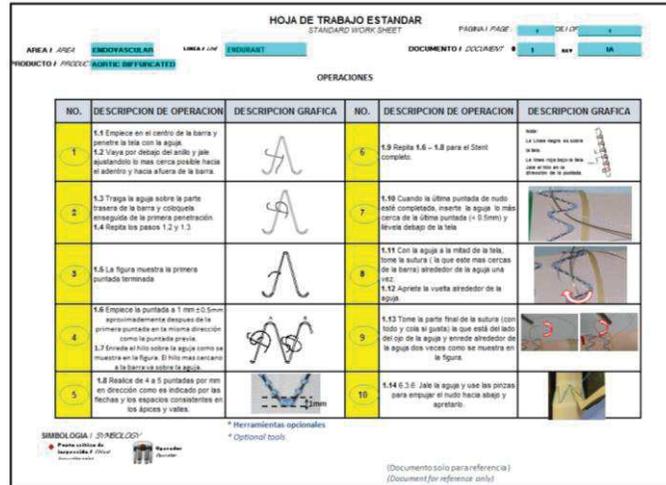


Figura 11. Hoja de trabajo estándar. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 12 muestran los nuevos métodos de trabajo representado en diagramas de procesos, en el cual se puede observar que se reducen actividades significativas a la producción, debido a eso se obtiene el beneficio de poder trabajar con producción al doble de lo normal con los mismos trabajadores que se cuenta actualmente.

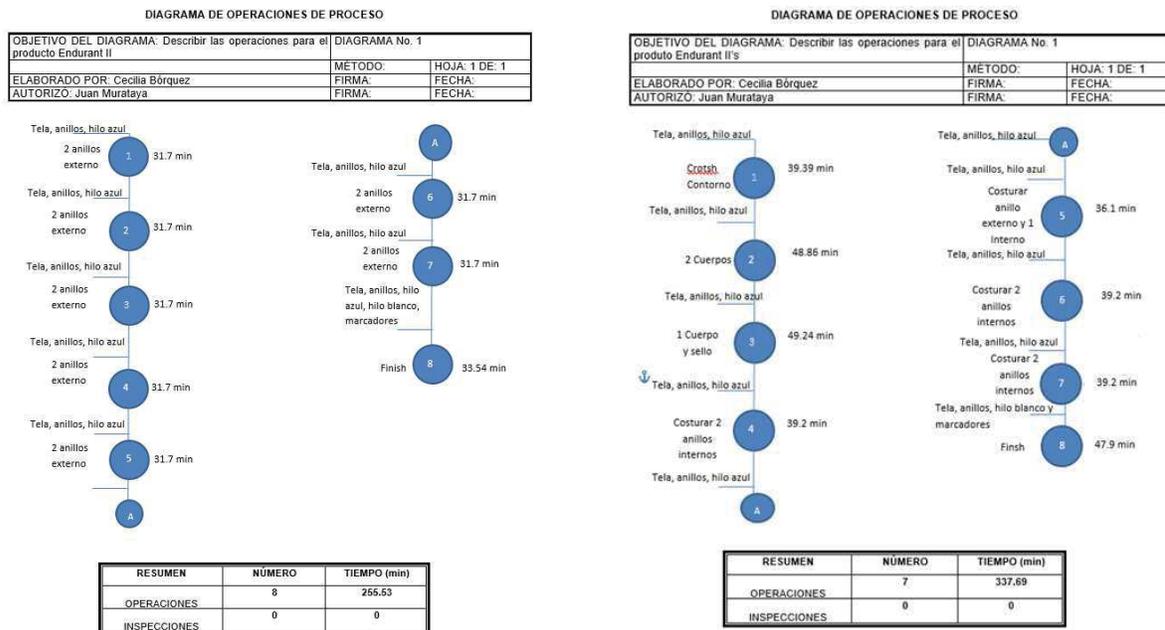


Figura 12. Diagrama de operaciones nuevos para Endurant II y Endurant II's.

### 3.5. Capacitación del nuevo método de trabajo

La capacitación del nuevo método de trabajo Después de haber desarrollado el nuevo método para hacer el trabajo y observar que se tiene un flujo constante en las líneas, además de que se estará cumpliendo con la meta que establece la empresa, inclusive duplicarla, se capacitó a los operadores, esto para que conozcan los nuevos métodos y comprendan los cambios que se hicieron, todo realizado con una extracción de la metodología TWI, la cuál va destinada a la instrucción rápida de los operarios. La figura 13 muestra evidencia de la capacitación.

**Hoja de Asistencia de Entrenamiento**

El propósito de esta forma es registrar el entrenamiento que ha sido impartido para el nuevo método de trabajo en las líneas de producción del producto Endurant.

Tópico o Título del Curso	Nuevo flujo de producción e instructivo		Revisión del Curso	1X
Número de Curso	027	Duración/Horas/semanales	Día	29/Abril/2016
Contacto del Curso	Cecilia Rodríguez	Para agregar más nombres, use páginas adicionales y registre		Pág. 1 de 4
Objetivos/Descripción	Dar a conocer el nuevo método de trabajo y entrenamiento			

Asistentes	ID Usuario en la red ID del Empleado (Crecer Linea)	Nombre (Favor de escribir claramente)	Firma
1.	86265	Jandra Liz Camarón N.	Jandra Liz Camarón
2.	MEADUM4	MARIO ANTONIO VEDADO A.	MARIO ANTONIO VEDADO
3.	87246	Jesús Aguilar Salas	J. Salas
4.	72466	Mario del Rosario Lopez	Mario del Rosario Lopez
5.	29710	Alma A. Bernaldez Mena	Alma A. Bernaldez Mena
6.	78512	Salvia Rotales Villa	Salvia Rotales Villa
7.	26815	Luz Vina Castro Barrera	Luz Vina Castro Barrera
8.	25881	Ignacio Carrasco	Ignacio Carrasco
9.	77915	Rosita Patricia Camp	Rosita Patricia Camp
10.	88762	FRANCOISA JIMENEZ VALDES	FRANCOISA JIMENEZ VALDES
11.	75411	Alfonso Almada Estrella	Alfonso Almada Estrella
12.	91642	Uu. del Renacimiento Barroto	Uu. del Renacimiento Barroto
13.	96126	Carmen Anali Rodriguez	Carmen Anali Rodriguez
14.	86522	Mario A. Bernaldez M	Mario A. Bernaldez M
15.	48214	Claudia Leticia Ramirez	Claudia Leticia Ramirez
16.	16157	Fredy-Luis Hernández H.	Fredy-Luis Hernández H.
17.	58942	Johana Miranda	Johana Miranda
18.	16872	Jesús Ramírez Suarez	Jesús Ramírez Suarez
19.	60126	Algodora Elna Blanc	Algodora Elna Blanc
20.	91283	Josmaria Miranda Cruz	Josmaria Miranda Cruz
21.	15281	Blanca Celia Torres	Blanca Celia Torres
22.	29990	Carla Patricia Ramirez	Carla Patricia Ramirez
23.	62315	Alejandra Gomez Castro	Alejandra Gomez Castro

Hoja de Asistencia de Entrenamiento 10059949DOC Revisión 1X

Figura 13. Hoja de asistencia de entrenamiento. Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Aplicación del nuevo método de trabajo.

Las figuras 14 muestran la meta de los dos productos de la familia Endurant, con una línea azul representando la producción semanal, y con línea naranja la meta respectiva de las últimas semanas del cierre del año, claramente se puede ver que no existe discrepancia entre ellas, inclusive en el RTY se encuentra por arriba de la meta, lo que significa que actualmente se está cumpliendo con los objetivos del proyecto.

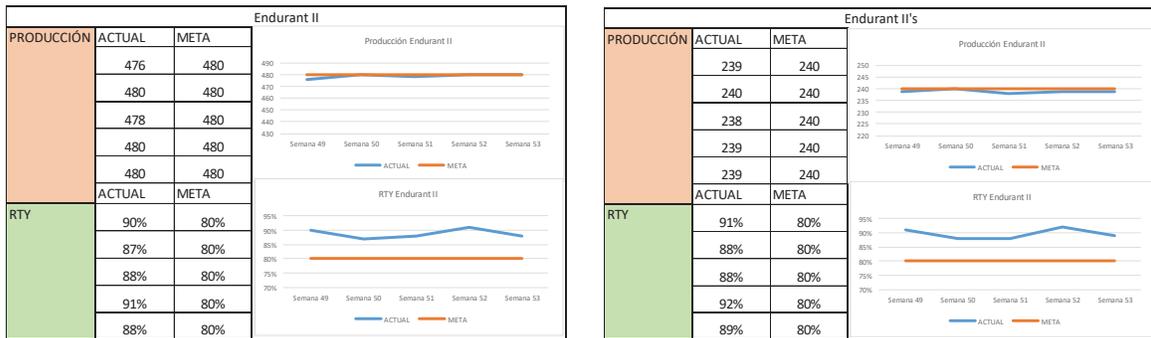


Figura 14. Seguimiento de métricos de Endurant II y Endurant II's. Fuente: Elaboración propia.

## 4. Conclusiones

El propósito de mejora de este trabajo es asegurar que se cumpla con la demanda de cliente, sin necesidad de generar tiempo extra, lo que provoca un costo para la empresa. Se detecto mediante el uso de herramientas de mejora, la necesidad de desarrollar balanceo de línea ya que los operadores generan tiempo improductivo en el área. Se realizó un estudio de tiempos para detectar las estaciones que requerían mejorar y nivelar los tiempos de labor de cada estación, esto llevo a definir un nuevo estándar de producción. Al realizar el estudio se dio a conocer que los estándares que manejaba la empresa daban demasiada tolerancia a los trabajadores, ya que al hacer sus

actividad des en un menor tiempo que el que marcaba la compañía, pasaban una parte de su jornada sin hacer nada en vez de estar produciendo, por lo que se optó por sacar un nuevo tiempo estándar y de esa manera reducir la tolerancia con la que se desempeñaban los trabajadores.

También se realizó un OBC para balancear las actividades, con lo cual se pudo observar que las actividades de anillos externos se podían realizar con la mitad de los trabajadores con los que se estaba operando regularmente e, lo cual dio la oportunidad de convertir una línea en forma de “U” de 16 operadores, en dos bloques de 8 personas, logrando que con 8 operadores se produjera lo que se pedía con 16, esto dando la oportunidad de no solo eliminar el ocio, horas extra y el flujo inconsistente de la línea, sino que también se abrió la posibilidad de duplicar la producción y aumentar la demanda que se estaba manejando en el momento de empezar el estudio. Además del balanceo se realizaron ayudas visuales para que los trabajadores pudieran detectar operaciones claves en el proceso en cuanto a defectos.

Es recomendable realizar estudios de tiempo mínimo 2 veces al año, esto para tener actualizados los estándares de las estaciones de trabajo, ya que, al ser un proceso manual, la habilidad puede ser cambiante, al igual que existen distintas curvas aprendizaje por parte de los operadores ya que no todos adquieren la misma habilidad en el mismo tiempo. De allí que los nuevos empleados, lleven a cabo su curva de aprendizaje debidamente para poder adaptarse rápidamente al ritmo de los tiempos de proceso y recudir al máximo los defectos que deban retribajarse.

## Referencias

- [1] Garza L. *Dispositivos médicos y su importancia para el desarrollo económico*. 03 de Febrero de 2016, de PWC Sitio web: <http://www.pwc.com/>. (2014).
- [2] Gutierrez L.y Ariza M. *LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE DISEÑO Y SU ENSEÑANZA, UNA CONTRADICCIÓN*. 03 de Febrero de 2016, de Consejo Mexicano de Investigacion Educativa Sitio web: <http://www.comie.org.mx/>. (2010).
- [3] (EMIM, INEGI,). Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, Obtenido de <http://www.inegi.org.mx> [10] . 2013
- [4] FDA. *Medical Devices & Equipment*. Recuperado el 03 de Marzo de 2013, de <http://www.fda.gov/>. 2016
- [5] Medtronic. The Endurant II family of products:. 14 de Marzo de 2016, de Medtronic Sitio web: <http://www.aortic.medtronicendovascular.com/>. (2016).
- [6] Soccononi, L. *Lean Manufacturing* . México: Norma Ediciones, S. A. de C. V. (2008).
- [7] Garcia Criollo, R. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana. (2005).
- [8] Villaseñor, A. *Manual de Lean Manufacturing Guía Básica*. México: LIMUSA. (2011).
- [9] Decarlo, N., & Management, B. *The Complete Idiot's Guide to Lean Six sigma*. Alpha Books. (2007).
- [10] Blake, O. J. *Así aprendieron a trabajar : cómo se construyó la capacitación laboral en la Argentina*. Elibro, O. J. (2008).
- [11] Meyers, F. E. *Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura agil*. México: Pearson. (2013).

# Cap.10 Control PID No-lineal para la Inmersión de un Mini AUV

Monroy Anieva Jesús Arturo <sup>1</sup>, Campos Mercado Eduardo <sup>2</sup>, Torres Muñoz Jorge Antonio <sup>3</sup>

Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (<sup>1</sup>)  
Universidad del Istmo, Tehuantepec, Oaxaca (<sup>2</sup>)  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N, Ciudad de México (<sup>3</sup>)

## Resumen

*En este artículo se presenta la aplicación del control en regulación para la dinámica en inmersión del Mini Vehículo Submarino Autónomo (Mini-AUV), nombrado LIRMIA 2, mediante la implementación de los controladores PID y PID con compensación de la gravedad con el objetivo de estabilizar la posición en “z” (arfada) por medio de un sensor de presión, el cual permite obtener la medición de la distancia en profundidad con respecto a la superficie. Se presenta el análisis de estabilidad mediante la teoría básica de Lyapunov, considerando las propiedades matriciales del modelo matemático que describe el comportamiento de los vehículos submarinos a través de las ecuaciones de Newton-Euler. Finalmente, se válida el desempeño del mini AUV, tras la comparación de resultados experimentales en tiempo real para obtener el mejor desempeño.*

**Palabras clave:** Robot submarino, sistema embebido, mini AUV, modelado, control PID, estabilidad.

## 1. Introducción

El desarrollo de vehículos submarinos ha tenido una gran importancia debido a su amplia aplicación, en la actualidad, la aplicación de estos vehículos tiene su importancia en aspectos tanto militares como civiles, entre las que destacan la exploración marina, levantamiento hidrográfico, vigilancia, entre otras (por ejemplo: [1], [2], [3]). EL desarrollo de estos vehículos se centra principalmente en resolver problemas de diseño y control, dado a su dinámica no lineal y sobre todo, la dificultad para conocer o estimar los parámetros hidrodinámicos que intervienen en la dinámica del vehículo [4], [5]. En este trabajo nos centraremos en la dinámica de inmersión del vehículo Lirmia 2, empleando una técnica de control PID, asumiendo que no conocemos nada sobre el modelo dinámico, y un control PID con compensación de gravedad, considerando que se conocen las fuerzas y momentos de restauración, generadas por la flotabilidad y el peso del vehículo; aunque estas técnicas de control no garantiza ser la ideal, desde el punto de vista práctico, nos da una panorama sobre el comportamiento del vehículo.

Este trabajo muestra detalles del desarrollo del prototipo e implementación y comparación de las estrategias de control PID y PID con compensación de la gravedad para la dinámica en arfada (z). En la sección 2 se describe brevemente la dinámica del modelo del mini submarino Lirmia 2 mediante las ecuaciones de Newton-Euler, mientras que en la sección 3 se presenta la implementación de estrategias de control para la inmersión del vehículo mediante los controladores propuestos. En la sección 4 se presenta los resultados experimentales en tiempo real. Finalmente, se concluye en la

sección 5, con las observaciones del trabajo desarrollado, así como los alcances y limitaciones de éste, además de mencionar los objetivos del trabajo futuro en desarrollo.

En la Figura 1 se muestra el prototipo Lirmia 2, con el cual se realizaron los experimentos en tiempo real, este vehículo ha sido desarrollado para diferentes aplicaciones de control tanto tareas de regulación como tareas de seguimiento de trayectoria [6], por lo cual su forma no corresponde a un diseño hidrodinámico generalmente utilizado en los vehículos submarinos convencionales, de hecho la forma plana en la parte superior, permite una mejor estabilización en la dinámica de inmersión, la cual esta actuada directamente con la fuerza generada por los propulsores verticales.



Figura 1. Prototipo experimental Lirmia 2.

## 2. Descripción del Prototipo

### 2.1 Sistema Embebido

El sistema embebido del prototipo Lirmia 2, consiste de una computadora embebida con un CPU Intel Atom Z550 de 2GHz, 1GB DDR2-533 de memoria RAM y requiere de una fuente de alimentación de corriente directa de 12V. Este sistema embebido también incluye una IMU (Unidad de Medición Inercial) CH Robotics UM6, una cámara web Logitech Pro 9000 y un sensor de presión (MS5803-05BA). La computadora opera con Windows XP con el objetivo de proveer a los usuarios un ambiente amigable en el desarrollo de la aplicación mediante el lenguaje de programación C++, la computadora procesa la información de los sensores, efectúa los algoritmos de control y envía las señales correspondientes a los actuadores es decir los propulsores de CD, (ver Figura 2).

En la Fig. 2 se muestra un esquema de la arquitectura del sistema embebido, los componentes del hardware del vehículo y su interacción.

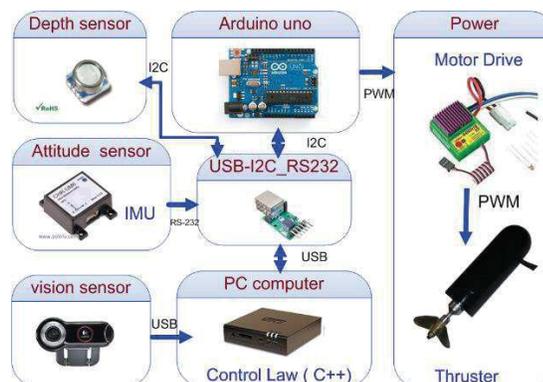


Figura 2. Sistema Embebido del *mini* AUV.

## 2.2 Diseño y descripción del movimiento

El mini vehículo submarino Lirmia 2 consta de un sistema de propulsión formado por 6 propulsores de propela (motores de CD). El movimiento en el plano horizontal corresponde al “avance (surge)” y al “desplazamiento lateral (sway)”, mientras que el movimiento en el eje vertical corresponde a la “arfada (heave)”. La rotación sobre el eje “z” es comúnmente conocida como “guiñada (yaw)” y la rotación tanto en el eje “x” como en el eje “y” son conocidos como “alabeo (roll)” y “cabeceo (pitch)” respectivamente (ver Figura 3). De acuerdo al movimiento rotacional del vehículo, el control en guiñada se lleva a cabo a través de la diferencia en fuerzas de los propulsores 3,4, 5 y 6. El control en cabeceo se obtiene similarmente utilizando los propulsores 1 y 2, mientras que el movimiento en alabeo no se encuentra actuado. Por otro lado, el movimiento de traslación en el eje “z” se regula mediante por la combinación de las fuerzas en los propulsores 1 y 2, de igual forma el movimiento de traslación en los ejes “x” y “y” se consigue por medio del uso de los propulsores 3,4 5 y 6 (ver Figura 3).

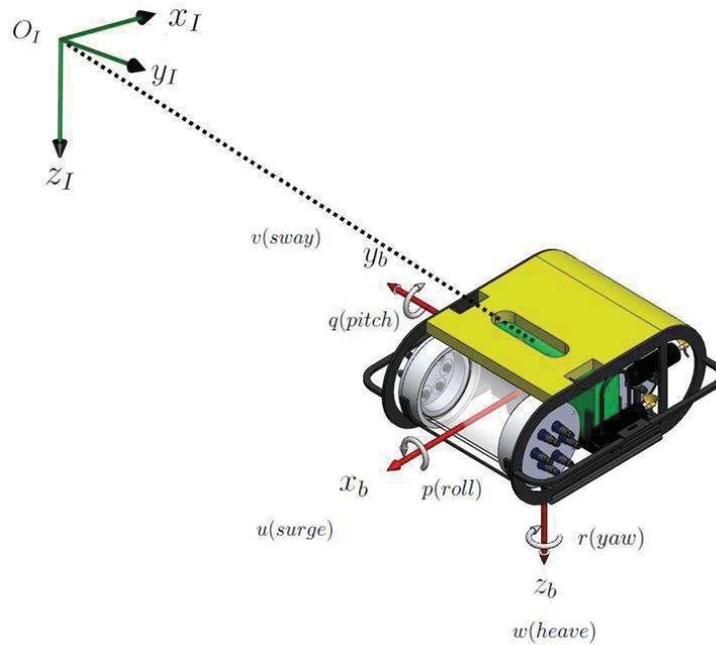


Figura 3. El mini AUV Lirmia 2, con su marco de referencia fijo al cuerpo ( $O_b, x_b, y_b, z_b$ ), y el marco de referencia fijo a la tierra ( $O_I, x_I, y_I, z_I$ ).

## 3. Modelo Dinámico

La dinámica del vehículo que se expresa en el marco de referencia fijo al cuerpo, puede escribirse en forma vectorial [7]:

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau + \varpi_e, \quad (1)$$

$$\dot{\eta} = J(\eta)v, \quad (2)$$

En donde:

$M \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ , es la matriz de inercia,

$C(v) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ , representa la matriz de coriolis de fuerzas centrípetas,

$D(v) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ , corresponde a la matriz de amortiguamiento hidrodinámico,

$g(\eta) \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ , describe el vector de fuerzas y momentos gravitacionales y de flotabilidad,

$\tau = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\tau_X, \tau_Y, \tau_Z)^T \\ (\tau_R, \tau_M, \tau_T)^T \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ , define el vector de entradas de control,

$\omega_e \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ , representa el vector de perturbaciones,

$v = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (u, v, w)^T \\ (p, q, r)^T \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ , denota el vector de velocidad lineal y angular en el marco de referencia fijo al cuerpo,

$\eta = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x, y, z)^T \\ (\phi, \theta, \psi)^T \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ , es el vector de posición y orientación representado en el marco de referencia fijo a la tierra,

$J(\eta) \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ , es la matriz de transformación entre el marco de referencia fijo al cuerpo y el marco de referencia fijo a la tierra [8, 9].

La orientación de vehículos submarinos, relativa al sistema de coordenadas fijo a la tierra, está dado por la transformación de velocidad lineal:

$$\dot{\eta}_1 = J_1(\phi, \theta, \psi)v_1, \quad (3)$$

Donde la secuencia de rotación se escribe como:

$$J_1(\phi, \theta, \psi) = R_\psi R_\theta R_\phi, \quad (4)$$

Por otra parte, el vector de velocidad angular fijado al cuerpo  $v_2$  y el vector de velocidad de Euler  $\eta_2$  están relacionadas a través de una matriz de transformación  $J_2$  como sigue [9]:

$$\dot{\eta}_2 = J_2(\phi, \theta, \psi)v_2, \quad (5)$$

Las ecuaciones anteriores (4) y (5) pueden escribirse con relación a la notación descrita en [16], como sigue:

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & 0 \\ 0 & J_2(\eta_2) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Como consecuencia, esto resulta:

$$\begin{aligned} \ddot{\eta} &= J(\eta)\dot{v} + J(\dot{\eta})v; \dot{v} = J^{-1}(\eta)[\ddot{\eta} - J(\dot{\eta})J^{-1}(\eta)\dot{\eta}] \\ M_\eta(\eta) &= J^{-T}(\eta)MJ^{-1}(\eta) \\ C_\eta(v, \eta) &= J^{-T}(\eta)[C(v) - MJ^{-1}(\eta)J(\dot{\eta})]J^{-1}(\eta) \\ D_\eta(v, \eta) &= J^{-T}(\eta)D(v)J^{-1}(\eta) \\ g_\eta(\eta) &= J^{-T}(\eta)g(\eta) \\ \tau_\eta(\eta) &= J^{-T}(\eta)\tau \end{aligned} \quad (7)$$

Finalmente, la ecuación (1) puede escribirse como:

$$M_\eta(\eta)\ddot{\eta} + C_\eta(v, \eta)\dot{\eta} + D_\eta(v, \eta)\eta + g_\eta(\eta) = \tau_\eta(\eta), \quad (8)$$

### 3.1 Fuerzas y momentos de Gravedad/Flotabilidad

Todo cuerpo sumergido en un fluido presenta un fuerza de flotabilidad  $f_B$ , según el principio de Arquímedes, que actúa en dirección opuesta al peso del vehículo  $f_W$ , dichas fuerzas se conocen como fuerzas de restitución, y son magnitudes físicas vectoriales, normales a la superficie terrestre, por lo cual se considera que el peso actúa en dirección del eje  $Z$ , del sistema inercial y la flotabilidad en dirección opuesta, entonces se tiene:

$$f_B = - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho g \nabla \end{bmatrix}, \text{ y } f_W = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix}, \quad (9)$$

Donde  $\rho$  representa la densidad del fluido,  $g$  la aceleración gravitacional,  $\nabla$  el volumen del fluido desplazado y  $m$  corresponde a la masa del vehículo. Las fuerzas  $f_B$  y  $f_W$  respecto al sistema de coordenadas fijado al cuerpo, son:

$$F_B = J_1(\eta_2)^{-1} f_B, \quad (10)$$

$$F_W = J_1(\eta_2)^{-1} f_W, \quad (11)$$

Considerando que  $W=mg$  y  $B=\rho g \nabla$  usando la convención (z-y-x) para la navegación y el control, entonces la matriz de transformación  $J_1(\eta_2) = R_{z,\psi} R_{y,\theta} R_{x,\phi}$ , se efectúa para obtener las fuerzas del peso y la flotabilidad respecto al sistema de coordenadas fijo al cuerpo, esto es:

$$F_B = \begin{bmatrix} B \sin \theta \\ -B \cos \theta \sin \phi \\ -B \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$F_W = \begin{bmatrix} -W \sin \theta \\ W \cos \theta \sin \phi \\ W \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}, \quad (13)$$

De forma que, las fuerzas de restitución que actúan sobre el vehículo son  $f_g = F_B + F_W$ , esto es:

$$f_g = \begin{bmatrix} (B - W) \sin \theta \\ (W - B) \cos \theta \sin \phi \\ (W - B) \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}, \quad (14)$$

Por otro lado, los momentos de restauración se describen mediante la siguiente ecuación:

$$m_g = r_w \times F_W + r_b \times F_B, \quad (15)$$

Donde  $r_w = [x_w, y_w, z_w]^T$  y  $r_b = [x_b, y_b, z_b]^T$  representan las posiciones del centro de gravedad (CG) y el centro de flotabilidad (CB) respectivamente. En base al diseño del vehículo y con la finalidad de reducir el cálculo matemático, el origen del sistema de coordenadas fijado al cuerpo se coloca en el centro de gravedad, de tal manera que  $r_w = [0,0,0]^T$ ; mientras que el centro de flotabilidad es  $r_b = [0,0,-z_b]^T$ . Para propósitos prácticos, la fuerza de flotabilidad debe ser mayor que el peso, es decir,  $W - B = -f_b$ . Observe que  $f_b$  debe ser menor que la fuerza producida por los propulsores. Por lo tanto, de las ecuaciones (12) y (13), se tiene:

$$g(\eta) = \begin{bmatrix} f_g \\ m_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_b \sin \theta \\ -f_b \cos \theta \sin \phi \\ -f_b \cos \theta \cos \phi \\ -z_b B \cos \theta \sin \phi \\ -z_b B \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

### 3.2 Fuerzas y momentos generados por los propulsores

En la Fig. 4 se muestran las fuerzas generadas por los propulsores actuando sobre el mini submarino, éstas son descritas relativamente en el sistema coordenado fijo al cuerpo, como:

$$\hat{f}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_1 \end{bmatrix}; \hat{f}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_2 \end{bmatrix}; \hat{f}_3 = \begin{bmatrix} f_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \hat{f}_4 = \begin{bmatrix} f_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \hat{f}_5 = \begin{bmatrix} f_5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \hat{f}_6 = \begin{bmatrix} f_6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

Al reducir y utilizar la notación de la SNAME (1950), se tiene:

$$\tau_1 = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_3 + f_4 + f_5 + f_6 \\ 0 \\ f_1 + f_2 \end{bmatrix}, \quad (18)$$

Y los momentos fijos al cuerpo generados por las fuerzas previamente presentadas, se definen como:

$$\tau_2 = \sum_{i=1}^6 l_i \times \hat{f}_i, \quad (19)$$

Donde  $l_i = (l_{ix}, l_{iy}, l_{iz})$  es el vector de posición de la fuerza  $\hat{f}_i \forall i = 1, \dots, 6$ ; con respecto al marco de referencia fijo al cuerpo. Entonces los momentos generados por los propulsores se describen como:

$$\tau_2 = \begin{bmatrix} K \\ M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ l_{1x}(f_1 + f_2) \\ \frac{l_{3y}}{2}(f_3 - f_5) + \frac{l_{4y}}{2}(f_4 - f_6) \end{bmatrix}, \quad (20)$$

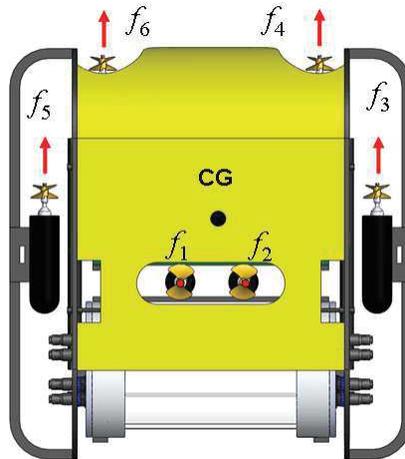


Figura 4. Fuerzas generadas por los propulsores.

#### 4. Estrategia de Control

La estimación de los parámetros hidrodinámicos puede facilitar en gran medida el diseño del controlador, lo cierto es que estos valores no son fáciles de calcular, y en muchas ocasiones son muy imprecisos, ya que dependen directamente de la velocidad del vehículo y del flujo del fluido. Para evitar en este caso la estimación de los parámetros hidrodinámicos, se propone utilizar una estrategia de control basada en un control PID, y dado que se conoce el vector  $g(\eta)$ , es posible realizar un control PID con compensación de gravedad, generalizando a un sistema no lineal, con la finalidad de analizar el comportamiento del vehículo para realizar la tarea de inmersión de manera autónoma.

Entonces, considerando el sistema no lineal dado por la ecuación (1), se propone la siguiente entrada de control:

$$\tau = g(\eta) - J^T(\eta)\tau_{PID}, \quad (21)$$

$$\tau_{PID} = K_p e + K_d \dot{e} + K_i \int_0^t e(\delta) d\delta, \quad (22)$$

Donde  $e = \eta - \eta_d$ .  $K_p = K_p^T > 0$ ,  $K_d = K_d^T > 0$  y  $K_i = K_i^T > 0$ . Entonces sustituyendo la ecuación (21) en (1), se tiene el sistema en lazo cerrado:

$$M\dot{v} + [C(v) + D(v)]v = -J^T(\eta)\tau_{PID} + \varpi_e, \quad (23)$$

Ahora considerando que  $K_i = 0$  y  $\eta_d = cte$ , entonces:

$$M\dot{v} + [C(v) + D(v)]v = -J^T(\eta)[K_p e + K_d \dot{\eta}] + \varpi_e, \quad (24)$$

De la transformación  $\dot{\eta} = J^T(\eta)v$ , se tiene:

$$\begin{aligned} M\dot{v} + [C(v) + D(v) + K_{dd}]v + J^T(\eta)K_p e &= \varpi_e, \\ K_{dd} &= J^T(\eta)K_d J^T(\eta) \end{aligned} \quad (25)$$

Para el sistema dado por la ecuación (25) se propone la siguiente función candidata de Lyapunov, esto es:

$$V = \frac{1}{2}v^T M v + \frac{1}{2}e^T K_p e, \quad (26)$$

Dado que el vehículo opera relativamente a baja velocidad, se tiene que las matrices  $M = M^T > 0$ , con lo cual, se tiene que  $V$  es globalmente definida positiva, y su derivada respecto al tiempo está dada por la siguiente expresión:

$$\dot{V} = v^T M \dot{v} + \dot{e}^T K_p e, \quad (27)$$

Como  $\eta_d = cte$ , entonces  $\dot{e}^T = \dot{\eta}^T = v^T J^T(\eta)$ , por lo tanto:

$$\dot{V} = v^T [M\dot{v} + J^T(\eta)K_p e], \quad (28)$$

Ahora, al sustituir la ecuación (25) dentro de la ecuación (28), se tiene:

$$\dot{V} = v^T [\varpi_e - [C(v) + D(v) + K_{dd}]v], \quad (29)$$

Además, como se sabe que  $C(v)$  es una matriz anti-simétrica, entonces  $v^T C(v)v = 0 \forall v$ , suponiendo que  $\varpi_e \approx 0$ , se tiene:

$$\dot{V} = -v^T [D(v) + K_{dd}]v, \quad (30)$$

Se puede observar que  $\dot{V} = 0$  cuando  $v = 0$ , por lo que, se puede usar el Teorema de LaSalle con el objetivo de probar que el sistema es globalmente asintóticamente estable, por lo tanto:

$$\Omega = \{(v, e) \in \mathbb{R}^n: \dot{V}(v, e) = 0\}, \quad (31)$$

Entonces:

$$\Omega = \{e \in \mathbb{R}^n, v = 0 \in \mathbb{R}^n\}, \quad (32)$$

De las ecuaciones (25) y (22), se observa que  $(v, e) = (0, 0)$  es la única condición inicial dentro  $\Omega$  para cualquier  $(v, e) \in \Omega$  y para todo  $t \geq 0$ , esto significa que el punto de equilibrio es globalmente asintóticamente estable de acuerdo al teorema de LaSalle. En el caso donde se incluye la acción

integral, es posible probar estabilidad local asintótica, este resultado es bien conocido en la robótica, ver [10].

## 5. Resultados Experimentales

El objetivo de los experimentos es analizar el desempeño de la plataforma experimental para realizar la rutina de inmersión empleando una ley de control relativamente sencilla, asumiendo que no se conoce nada sobre el modelo matemático que describe la dinámica del vehículo y posteriormente considerando al menos una parte del modelo dinámico, esta idea nos da un panorama del comportamiento que podemos esperar al aplicar estrategias de control más elaboradas.

Los primeros experimentos consistieron en aplicar un control PID para realizar la dinámica de inmersión, sin considerar los movimientos de traslación en el plano “x-y” y evidentemente sin tomar en cuenta la dinámica de rotación; en la Figura 5 se puede observar que la referencia, esto es “ $z_d$ ”, no es un valor constante, sino que es una trayectoria suave con la finalidad de que el vehículo realice la inmersión de manera progresiva, lo que se tiene es que al inicio el error generado no es lo suficientemente grande para encender los motores, y por lo tanto el arranque de los motores no es de manera repentina, al contrario, tienen un encendido relativamente suave; en la Figura 6 se puede observar el valor del error en función del tiempo, y como se puede observar, el error crece hasta hacer que los motores enciendan y rompan la inercia para corregir el error y tratar de hacer que este se vuelva cero; en la Figura 7 se observa la fuerza generada por los propulsores, de hecho en los primeros experimentos se puede apreciar que una vez que el vehículo alcanza la referencia estos se quedan encendidos para contrarrestar la flotabilidad del vehículo, en la Figura 8 se observa el valor del PWM demandado por cada acción de control, el valor PWM máximo es de 255, lo que corresponde a la fuerza máxima de los propulsores, en esta Figura se aprecia como la parte integral converge a un valor para el cual es posible contrarrestar la fuerza de flotabilidad que produce el vehículo. Por lo tanto, se tiene que el comportamiento del vehículo es aceptable, pero existe un sobre tiro cuando se trata de alcanzar la referencia, lo cual produce una ligera oscilación que para términos prácticos no presenta problema alguno.

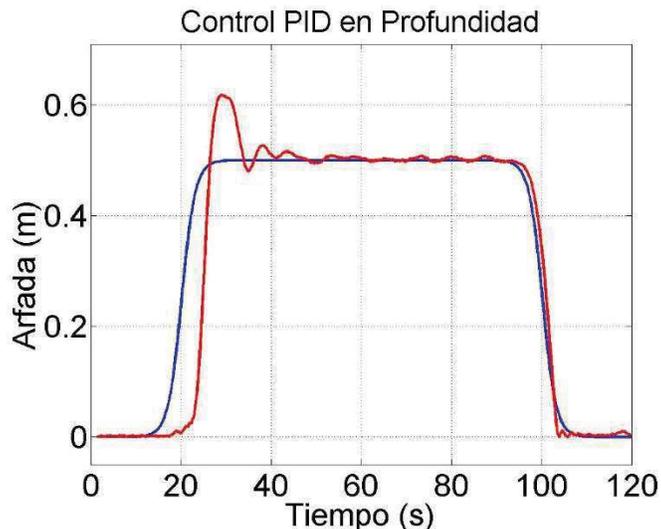


Figura 5. Referencia y medición en profundidad.

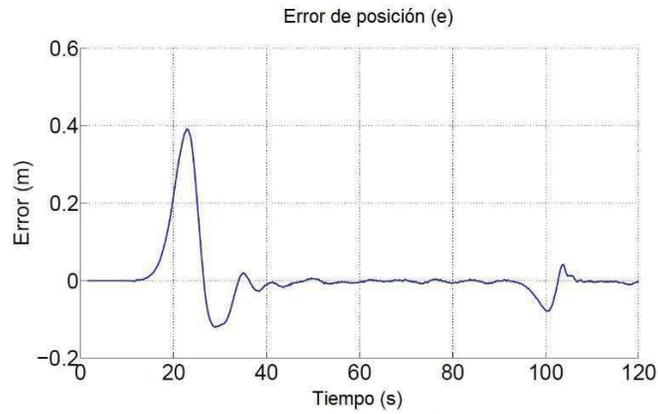


Figura 6. Error ( $Z_d-Z$ ).

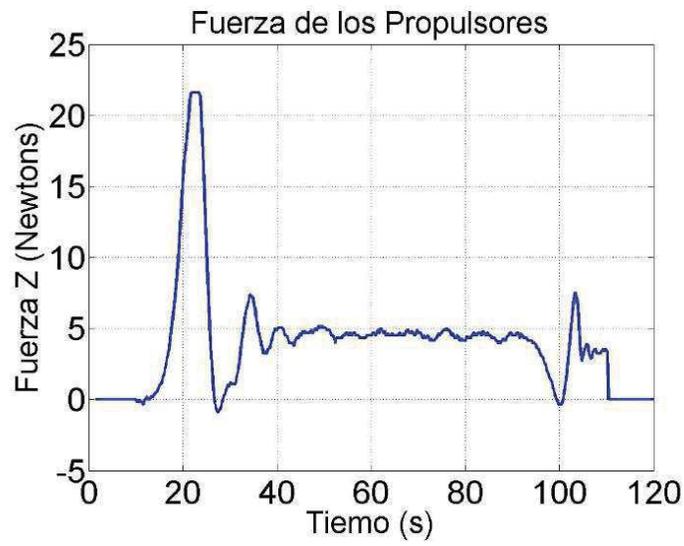


Figura 7. Entrada de Control.

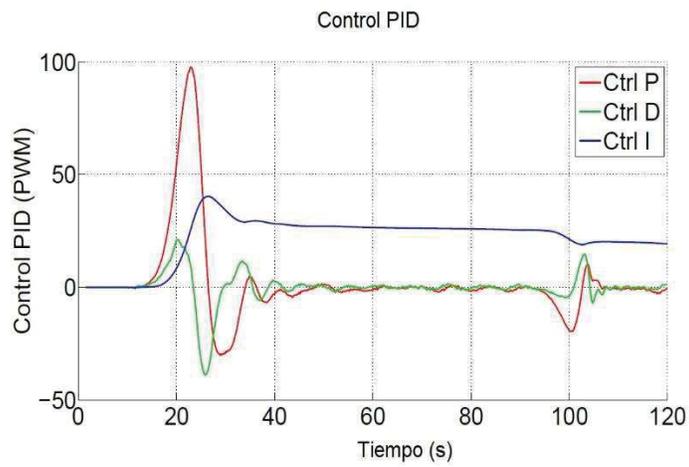


Figura 8. Ley de control:  $k_{pz} = 250$ ,  $k_{dz} = 120$  y  $k_{iz} = 4$ .

Los siguientes resultados corresponden al control PID con compensación de gravedad, en otras palabras, ahora se considera que se conoce al menos una parte del modelo matemático que describe la dinámica del sistema, esto es el vector de gravedad y flotabilidad dado por la ecuación (16), en este caso se conoce la función que describe la fuerza producida por los propulsores en términos del PWM (Modulación por Ancho de Pulso) y poder agregar el término que se necesita para contrarrestar el exceso de flotabilidad con la que cuenta el vehículo.

Al igual que en el primer caso, lo que se tiene es una trayectoria que produce el valor deseado ( $z_d$ ) de la inmersión hasta alcanzar el valor de 0.5 metros de profundidad, después de un tiempo el valor deseado cambia hasta llegar a un valor de 0, lo cual implica que el vehículo regrese a la superficie, cabe señalar que la sintonización del control PID se realiza de manera empírica, puesto que los resultados obtenidos son aún mejor que los que se obtienen empleando alguna técnica de sintonización. En la Figura 9 se puede observar que el vehículo alcanza la referencia sin generar el sobretiro que se produce cuando solo se aplica el control PID, como en el caso de los resultados anteriores mostrados en la Figura 5, de hecho esta es una de las principales ventajas que se tiene cuando se aplica la compensación de la flotabilidad; en la Figura 10 se muestra el error en función del tiempo, si se compara con el error del control PID mostrado en la Figura 6 se puede observar que es relativamente igual en magnitud, y en este caso aunque el error es muy parecido en magnitud al caso anterior, la parte proporcional del control no aporta la misma fuerza que en el caso del control PID, puesto que los valores de las ganancias son diferentes, de hecho para el caso del control PID con compensación de flotabilidad, las ganancias son más pequeñas, lo que evita significativamente el sobretiro en la rutina de inmersión.

En la figura 11 se muestra la fuerza producida por los propulsores en función del tiempo, comparada con la fuerza generada por el control PID que tiene aproximadamente la misma magnitud cuando el vehículo ha alcanzado la referencia, solo que en el caso del control PID, el valor que permanece una vez que se llega a la referencia esta proporcionado por la parte integral, mientras que en el caso de la compensación, este valor es calculado en base la diferencia entre el peso del vehículo y su flotabilidad. La práctica nos sugiera otra camino para conocer este valor, lo que se puede hacer es aplicar primero el control PID y esperar a que el vehículo alcance el valor deseado, posteriormente se puede observar que fuerza producen los propulsores y se toma este valor como el valor que se necesita para compensar la flotabilidad.

En la Figura 12 se muestra el valor en PWM que demanda cada parte del control, como se puede observar en este imagen, el control obtenido por la parte integral prácticamente es nulo, de hecho su aplicación es básicamente para eliminar el error en estado estacionario, ya que no juega un papel tan importante como en el caso anterior que era quien asignaba el valor necesario para contrarrestar el exceso de flotabilidad con el cual se diseñó el vehículo.

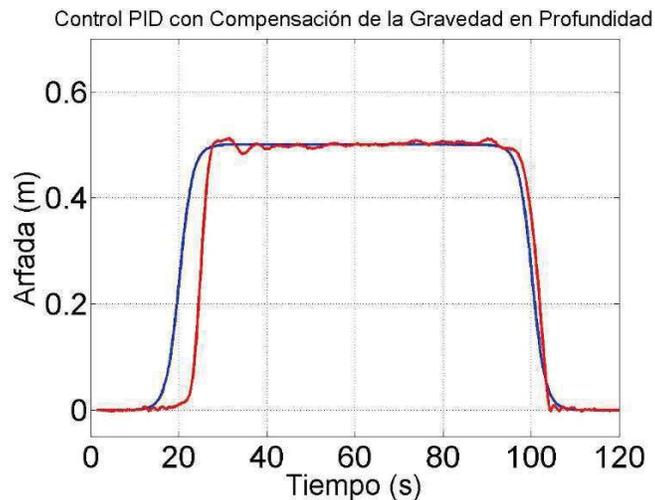


Figura 9. Referencia y medición en profundidad.

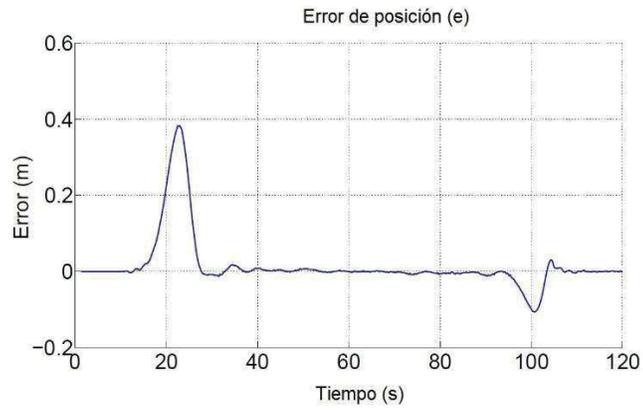


Figura 10. Error ( $Z_d-Z$ ).

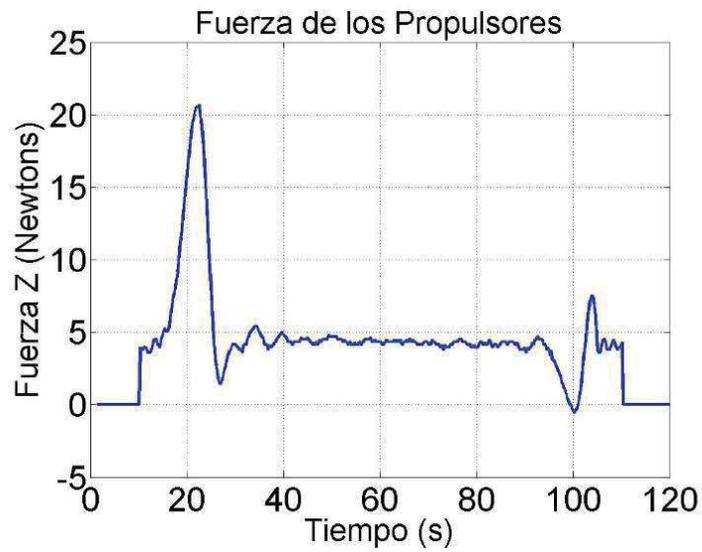


Figura 11. Entrada de Control.

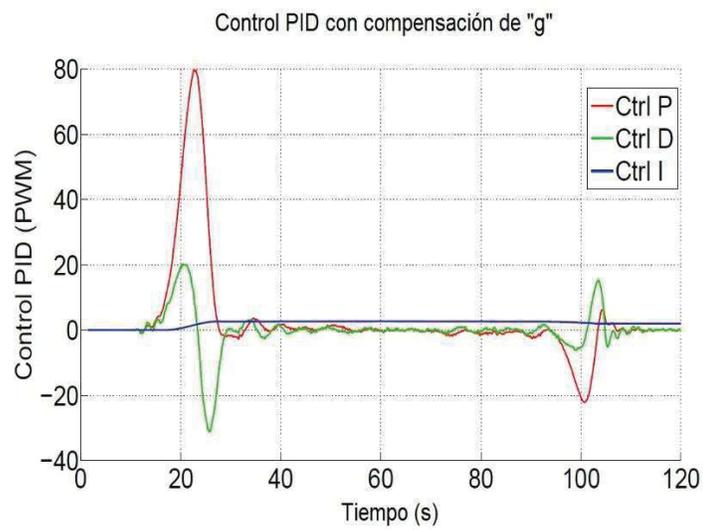


Figura 12. Ley de Control:  $k_{pz} = 208$ ,  $k_{dz} = 120$  y  $k_{iz} = 0.25$ .

## 6. Conclusiones y Trabajo Futuro

El desempeño del vehículo depende indiscutiblemente de la instrumentación del mismo, pero también se puede observar que la estrategia de control aplicada, tiene una gran influencia sobre el comportamiento del mini submarino, mejorando significativamente cuando se tiene el conocimiento sobre una parte del modelo matemático, que en este caso es el vector de gravedad y flotabilidad. De lo anterior se tiene como tarea pendiente la estimación de los parámetros hidrodinámicos que influyen sobre la dinámica del vehículo, para mejorar el desempeño del submarino en tareas como seguimiento de trayectorias, localización de objetos, navegación, entre otras. Además se pretende implementar otras estrategias de control basadas en control adaptable o redes neuronales, con la finalidad de mejorar la autonomía del vehículo.

### Referencias

- [1] Stewart A, Glegg L, Olivieri M, Coulson R, and Smith S. “*A Passive Sonar System Based on an Autonomous Underwater Vehicle*”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 26, No. 4, pp 700-710, 2001.
- [2] Jaulin L and Bertholom A. “*Localization of an AUV using setmembership*”, Sea Tech Week, pp 16-19, 2006.
- [3] Kleeman L. “*Advanced Sonar and Odometry Error Modeling for Simultaneous Localization and Map Building*”, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, USA, 2003.
- [4] Newman J. “*Marine Hydrodynamics*”. MIT Press. Cambridge, MA. 1977.
- [5] Lamb H. “*Hydrodynamics*”, Cambridge University Press. London, 1932.
- [6] Campos E, Comby F, Creuze V, Torres J, Antonio E, Strauss O, Monroy J. “AUV pipeline following by artificial visión”, II Congreso Internacional de Robótica y Computación, Los Cabos, B. C. S. México, pp. 251-256, 2015.
- [7] Fossen T. “*Guidance and Control of Ocean Vehicles*”, John Wiley and Sons, Norway, Second edition, 1999.
- [8] Goldstein H, Poole C and Safko J. “*Classical Mechanics*”, Addison Wesley Series in Physics, Addison-Wesley, USA, second edition, 1983.
- [9] Marsden J. “*Elementary Classical Analysis*”, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1974.
- [10] Arimoto S. and Miyazaki F. “*Stability and Robustness of PID feedback Control for Robot Manipulators of Sensory Capability*”, In:Proc. of the 1st Int. Symp. On Robotics Research (M. Brady and R.Paul, Eds), pp 783-799. MIT Press 1984.

# Cap.11 Importancia y Apropiación de los Espacios Públicos en la Zona Sur de la Ciudad de Colima

Zepeda Nava Jorge Alejandro

Instituto Tecnológico de Colima, Posgrado en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana.

## Resumen.

*La siguiente investigación aborda la importancia de los espacios públicos para el óptimo desarrollo de la Ciudad. Por las distintas dimensiones de éste, lograremos determinar que el espacio abierto en su continua apropiación por los residentes será la unión directa para promover el desarrollo territorial, político, social, económico y cultural, por lo consiguiente es necesaria la recreación ciudadana con los espacios públicos de la ciudad para construirla de manera armónica y ordenada.*

*El documento desarrollará mediante un análisis teórico, histórico y conceptual la comprensión de la situación de la segregada zona del sur de Colima, el impacto de sus fenómenos y problemáticas que se han llegado a presentar en los espacios públicos de las colonias de la zona antes mencionada.*

**Palabras clave:** Espacio público, apropiación, empoderamiento, ciudad, segregación, marginación, Colima, recreación, cultura, sociedad.

## 1. Introducción.

El espacio público será definido en la morfología de la ciudad para que cada uno de los residentes sea capaz de realizar individual y/o colectivamente las actividades recreativas y sociales necesarias del ser humano. El espacio público por lo consiguiente es el escenario obligado para lograr la transformación física y social, un área común para desarrollar pensamientos, liberar energía e intercambiar en un espacio seguro, limpio y además abierto a distintas emociones con otros individuos.

Este recinto social delimitado entre la traza urbana desarrollada en cada una de las ciudades es capaz de tomar parte esencial a la funcionalidad de la urbe y es entonces la responsabilidad primordial de la sociedad para que no exista el deterioro de los espacios públicos, las secretarías e institutos gubernamentales por medio de asociaciones que promuevan el empoderamiento de las calles, jardines, plazas deportivas, entre muchas más, y la academia, a priori, con la intervención de ingenieros y arquitectos por medio de la investigación y factibilidad de proyectos, para crear un espacio el cual no pertenece a ninguno en particular, pero al que cada uno de nosotros tenemos el derecho y responsabilidad de habitar correctamente el espacio público.

Para un mayor entendimiento del espacio público, SEDESOL en 2010 dicta que este lugar o área de recreación social urbana tiene como objeto el desarrollo de actividades deportivas, recreativas, artísticas, de esparcimiento y para el uso ético del espacio abierto a la comunidad cuando ésta lo demande, sin embargo muchos de los espacios públicos debido a su ubicación y arquitectura presentan distintos grados de interés para la sociedad, desempeñando diferentes usos para las

personas que los habitan, es decir, la calidad de recreación que tienen los residentes en sus parques y calles determinarán la cohesión y progreso del grupo de personas y para comprender los distintos fenómenos sociales que el espacio público como escenario ocupa en la historia del asentamiento de la ciudad.

Indagando en la historia de la estructura urbana de la antigua ciudad de Roma, el arquitecto Giambattista Nolli en 1748 crea una representación cartográfica llamada “El plano grande de Roma” de aquella majestuosa e histórica urbe, la representación del uso y empoderamiento que se le otorga a los ciudadanos romanos a lo largo del crecimiento urbano de Roma y de sus espacios públicos, es trazado explícitamente en el antiguo plano de Nolli, dando localización y entendimiento de la apropiación pública a la bella Roma a través de hitos arquitectónicos y la movilidad por sus calles, en creación y apropiación de los espacios físicamente accesibles, así obteniendo el dominio público, el uso social colectivo y multifuncionalidad (Borja, 2000).

En mi opinión, la inmensa diversidad y aumento de la población de Roma creó la gran preocupación por el orden de la ciudad y los daños que ésta sufriría por el deterioro del espacio, surgiendo los distintos fenómenos sociales como la seguridad, y la movilidad, por falta de interés y apropiación del espacio público de sus ciudadanos, efectos que siguen siendo partícipes en la ciudad contemporánea de la actualidad.



Imagen 1. Plano de Roma. Giambattista Nolli, 1748.

Actualmente los diversos problemas sociales como son la marginación y la seguridad en la Capital del estado de Colima, debido a su pifia estructuración urbana y en definitiva a la escasas del apropiado estudio, intervención social y económica, aunada a la falta de identidad que los espacios públicos ofrecen a la urbanización desplazada de las colonias al sur de la ciudad, conllevan consecuencias desfavorables creando problemas de inseguridad, pobreza y la inexistencia cultural en las cuatro colonias ubicadas al sur de la Ciudad. Es primordial considerar que dichos espacios son necesarios para ayudar a que el ser humano cuente con la capacidad y el entorno adecuado para poder liberar y/o desahogar cualquier tipo de presión a la que sea sometido, logrando así una mejor interacción de manera pacífica y respetuosa entre ellos mismos.

## 2. Importancia y apropiación de los espacios públicos en la zona sur de la Ciudad de Colima.

### 2.1 Desarrollo del espacio público de la zona sur de la ciudad de Colima

Es importante destacar la historia de ésta sección de la ciudad, que durante el siglo XIX el país de México buscaba la restauración económica y social por medio de grandes cambios en la producción industrial en el gobierno de Porfirio Díaz, clave de la visión y el progreso del país fue la construcción del ferrocarril en marzo de 1892, donde ésta vía férrea cumpliría el objetivo de conectar a la ciudad de México y Guadalajara con Manzanillo, puerto de transbordo para la importación y exportación por el Océano Pacífico, con su idónea ubicación crea este complejo portuario que en la actualidad con datos de La Secretaría de Fomento Económico (SEFOME) logró el 60% del PIB nacional. En resumen, el puerto Mexicano más importante para el comercio internacional.

**Cuadro A.O AGEB urbanas y población de las ciudades de 100 000 habitantes o más según grado de marginación urbana, 2010**

Ciudad	Grado de marginación urbana 2010											
	AGEB urbanas						Población					
	Total	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo	Total	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
41 ZM Villahermosa	166	4	26	50	47	39	529 462	1 688	71 103	208 326	161 975	86 370
44 ZM Matamoros	254	31	33	107	61	22	455 782	11 007	45 191	216 443	146 088	37 053
46 ZM Tlaxcala - Apizaco	276	13	118	94	40	11	444 274	17 296	164 313	170 241	76 935	15 489
18 ZM Pachuca	332	15	75	74	55	113	438 363	10 847	76 120	117 386	85 795	148 215
30 ZM Tepic	168	1	18	50	46	53	382 229	196	18 473	124 437	133 384	105 739
45 ZM Nuevo Laredo	201	8	25	100	46	22	377 334	4 918	28 614	207 925	95 635	40 242
50 ZM Orizaba	165	45	39	50	23	8	354 533	52 914	76 619	144 170	63 392	17 438
22 ZM Puerto Vallarta	251	11	47	117	32	44	346 013	3 815	39 564	190 818	50 913	60 903
29 ZM Cuautla	207	24	104	57	11	11	337 856	16 907	165 322	131 850	15 164	8 613
49 ZM Poza Rica	189	49	63	46	17	14	335 491	51 712	119 512	103 900	38 102	22 265
52 ZM Coatzacoalcos	132	8	42	30	27	25	332 127	6 083	122 893	90 816	56 521	55 814
6 ZM Monclova-Frontera	181	4	26	63	55	33	309 493	868	18 699	113 280	113 985	62 661
8 ZM Colima - Villa de Álvarez	212	--	13	67	53	79	301 231	--	13 523	94 177	90 381	103 150
51 ZM Minatitlán	126	26	44	39	9	8	277 787	47 582	99 946	95 835	21 221	13 203
35 ZM Tehuacán	113	47	37	22	5	2	277 205	84 766	110 123	69 226	11 198	1 892
53 ZM Córdoba	97	10	34	29	21	3	237 073	16 987	100 248	74 394	43 480	1 964
26 ZM Zamora - Jacona	99	19	32	31	13	4	225 285	23 278	88 036	74 918	33 687	5 366
19 ZM Tulancingo	107	11	42	28	21	5	181 406	13 602	65 181	64 244	34 703	3 676
7 ZM Piedras Negras	140	1	17	62	35	25	176 911	92	11 001	86 170	49 797	29 851
40 ZM Guaymas	130	11	19	27	38	35	170 398	15 640	30 804	35 960	51 961	36 033
20 ZM Tula	93	1	30	43	13	6	154 722	69	47 446	77 792	22 938	6 477
27 ZM La Piedad - Pérjamo	75	3	30	29	10	3	138 396	1 934	45 677	64 551	22 387	3 847
33 ZM Tehuantepec	100	19	45	28	3	5	134 437	20 325	64 899	37 153	5 689	6 371
9 ZM Tecmán	90	13	51	22	3	1	127 348	11 101	76 054	34 589	3 916	1 688
23 ZM Ocotlán	60	7	17	23	9	4	115 499	5 809	25 676	58 658	16 076	9 280
15 ZM San Francisco del Rincón	56	1	24	24	5	2	114 273	242	45 059	61 867	6 376	729
16 ZM Moreloón - Uriangato	62	2	20	32	7	1	93 138	622	21 679	61 287	9 450	100

Continúa

Tabla 1. Cuadro A.O AGEB urbanas y población de las ciudades de 100 000 o más según grado de marginación urbana. 2010.

Para la pequeña Ciudad de Colima en el siglo XIX significó un contrastante progreso social e industrial, el puerto de Manzanillo y su comunicación con la ciudad de México y Guadalajara por medio del transporte férreo promoviendo el desarrollo de las distintas actividades económicas y el aumento de la población en la ciudad de Colima, las audaces intervenciones del gobierno como bien sabemos, requerían de estratosféricas inversiones para llevarse a cabo, y fue entonces que en 1842 el país comenzó la recaudación económica por medio del pago de un impuesto sobre los suelos, evidentemente para realizar el cobro a la población en el siglo XIX, de la cual se organizó

un padrón de varones. En razón de obtener información estadística básica de la antropología e historia de la ciudad de Colima el padrón exclusivamente de varones determinaba la ubicación de cada hogar, cuantos habitaban, su profesión, las actividades que realizaban y la edad de los mismos, este censo en 1842 segmentó a la ciudad de Colima en cuatro regiones para su análisis, el resultado se logró identificar en el documento analizado por Juan Carlos Reyes G. en la memoria del IV foro Colima y su región arqueología, antropología e historia en 2008, con la información y estadística básica de la población de la ciudad de Colima con 52,900 habitantes en 1842, podemos analizar que a pesar del sesgo en el censo de 1842 la cantidad de residentes en la ciudad de Colima es similar a los 33,995 colimenses en la actualidad que sufren de algún grado de marginación.

Es el documento denominado como “índice de marginación por entidad federativa” del 2010 que permite visualizar la situación en marginación y pobreza del territorio, y con la finalidad del entendimiento del estudio surgen áreas geo-estadísticas-básicas denominadas “AGEB” delimitando los distintos espacios de los asentamientos poblacionales y la relación directa con los espacios públicos de la ciudad, con soporte del anexo A y de los mapas de marginación urbana de las zonas metropolitanas y ciudades de 100 mil o más habitantes, en 2010, la ciudad de Colima alberga según el estudio 13 zonas AGEB con un alto grado de marginación urbana, es por medio del documento emitido por el Instituto Nacional de Estadística Básica y Geografía (INEGI) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO) que el 4.4% de la población total de la ciudad de Colima sufre de un ALTO grado de marginación que, un dato alarmante para la ciudad de Colima y sus 301,231 habitantes en 2010.

Ocho de las trece AGEB con alto de grado de marginación urbana de la ciudad de Colima se encuentran reunidas al sur de la ciudad, con apoyo del Plan Maestro de los Polígonos de Hábitat Colima de 2014 desarrollado por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) se delimitan las ocho zonas AGEB con el polígono 06002103, conformado por manzanas de las colonias Leonardo B. Gutiérrez, El Tivoli y Patios del Ferrocarril, este polígono está ubicado al sur de la estación de ferrocarril de la ciudad de Colima, el territorio comprende zonas habitacionales y población en estado de pobreza y marginación debido a los asentamientos irregulares, el hacinamiento y la segregación territorial que las vías del tren marcan como un borde físico y social para las colonias del sur, creando distintos fenómenos sociales en seguridad, movilidad y una errónea apropiación del espacio público.

Para la ciudad de Colima la zona sur necesita ser vinculada al resto de la ciudad para su progreso, en búsqueda de mejorar la conexión y accesibilidad al territorio y promover culturalmente a la sociedad del sur por medio de la correcta apropiación y recreación con el espacio público.

A pesar que El Tivoli, la colonia con mayor antigüedad del polígono que tiene su origen en la historia como una Hacienda y diversos asentamientos inapropiados del territorio a fin al uso del ferrocarril, sería El Tivoli acreedor de los efectos negativos de la urbanización posterior al crecimiento de la ciudad de Colima, siendo para finales del siglo XIX la periferia urbana de la ciudad, como describió el cronista municipal Profesor. Abelardo Ahumada González en el documento “Pueblo aparte” en 2001, El Tivoli fue consignado al alto desarrollo económico que en 1889 la ciudad de Colima era favorecida por el primer ferrocarril de vía angosta procedente de Manzanillo y su vinculación al centro del país, creando la inversión en grandes bodegas para el almacenamiento de mercancías de exportación e importación, La zona sur de Colima perfilaría al prospero desarrollo, pero en la historia revolucionaria de Colima en este periodo de formación y

consolidación del estado, originó el descontento por la desigualdad económica, política y social en el siglo XIX o como bien los inicios fundamentales de la Revolución Mexicana, con apoyo de las meretrices de Colima durante el Porfiriato y la Revolución, la maestra en historia regional María Irma López Razgado en 2008 narra que este siglo de transición creó en la población de Colima el sentido emocional a la zona sur de la ciudad, aunado a los ajustes de territorialidad y las confusas situaciones cambiantes de sufría el estado en el siglo XIX.

Fue entonces la pérdida de identidad desde el siglo pasado, la cual segregó socialmente al territorio del sur de la ciudad de Colima, implicando posteriormente al uso y valor adquisitivo del suelo. Con el crecimiento económico y poblacional demandado por la ciudad, hasta la actualidad los márgenes de la urbe fueron creciendo hasta cubrir y continuar el desarrollo de nuevas viviendas, fue caso entonces de recuperar la zona sur de la ciudad en la década de los noventa por medio del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) el cual realizó mediante las subastas de vivienda, la construcción de viviendas en Leonardo B. Gutiérrez y el Tivoli, este tipo de subastas ofrecen a las empresas con capacidad financiera y experiencia técnica la posibilidad de desarrollar viviendas en serie de más 100 casas, actualmente estos hogares ubicados dentro del polígono 06002103 del Plan Maestro de los Polígonos Hábitat Colima en 2014 albergan una población de 2,235 residentes, el 1.63% de la población total de la ciudad de Colima según el censo poblacional de INEGI en 2010, el espacio ocupado por las colonias al sur de la ciudad dicta una densidad de 59.72 hab/m<sup>2</sup>, mucho mayor a la densidad total poblacional de la ciudad de 48.39 hab/m<sup>2</sup>, creando principalmente hacinamiento en la población y generando problemas sociales en seguridad, como de igual forma se generó en la provincia de Mendoza en Argentina con 1,389 viviendas segregadas de la ciudad con problemas de hacinamiento Mercedes Lentini y Delta Palero en el documento “El Hacinamiento: La dimensión no visible del déficit habitacional” en 1997 vinculan los fenómenos sociales de la provincia de Mendoza procedentes del hacinamiento con el proceso de crecimiento urbano en la falta de diseño y empoderamiento del espacio aunado a las políticas habitacionales de la construcción de viviendas segregadas en la ciudad, dicha problemática que experimenta y torna vulnerable a la sociedad de la zona sur de la ciudad de Colima.

En razón de la comprensión de los distintos fenómenos sociales que la densa población en el territorio del polígono sur presenta por ser el elemento que le da vida y sentido al espacio público es necesario conocer aspectos demográficos básicos y comprender así las deficiencias en recreación e integración social de la población, por lo tanto es importante evidenciar que en los últimos años la dinámica social y la economía de las colonias segregadas al sur de la ciudad de Colima presenta signos alarmantes en aumento principal de la seguridad del territorio, a pesar que en los datos estadísticos al número de habitantes en 2005 la zona sur albergaba 2,209 residentes y en 2010 de igual forma INEGI determina un incremento a 2,235 habitantes, los cuales 1,096 convergen en la colonia con mayor hacinamiento denominada el Leonardo B. Gutiérrez, logrando una densidad de población de 81.57 Hab/Ha, la cifra más alta del territorio, que significa que viven alrededor de 6 habitantes por hogar en la colonia antes mencionada, el índice de sexo y edad en la población mantiene la relación 1:1, es decir que existe casi la misma cantidad de mujeres y de hombres en la población del territorio y de los cuales según datos censados por INEGI en 2010, la población de jóvenes menor de 25 años es de 891 habitantes contra un rango de edad que comprende de los 25 a los 59 años con una población de 931, se determina así que la población del polígono sur en su mayoría es muy joven y exceptuando que la población adulta en comparación con el censo de población joven abarca una amplia franja de diversas edades.

Debido a los datos obtenidos es comprensible que la población joven y adulta de las colonias del sur de la ciudad de Colima tiende a incrementarse evidenciando el índice de juventud del 27.1%

de la población total, en relación con el índice de envejecimiento del 11.00%, es que decir que en comparación al índice de juventud de la ciudad de Colima es menor con 21.6% de la población total, esto nos hace reflexionar sobre los aspectos socioeconómicos y los fenómenos sociales en ausencia del espacio de interacción, empoderamiento y esto aunado al nivel cultural de la población.

La culturalización de los grupos sociales creará mejores oportunidades económicas y de cohesión social en el territorio, es entonces necesario implementar medidas para el incremento de la escolaridad promedio en el polígono sur, que según datos del censo emitido por INEGI en 2010 es de 7.1, es decir que la educación primaria es la prevaleciente en la población del sur y tan solo un 21.7% de la población continua los estudios pos-básicos, dato contrastante al 50.2% de la población total de la ciudad de Colima, dentro del análisis escolar de la población es importante notar que en 2005 la inasistencia escolar de la población de 6 a 14 años fue del 51% y que en el rango posterior de la población de 15 a 24 años se suma además el 31% de inasistencia escolar, datos que por medidas educativas aumentaron en el censo emitido por INEGI en 2010 logrando un 52.4% de asistencia escolar en los jóvenes de 15 a 17 años.

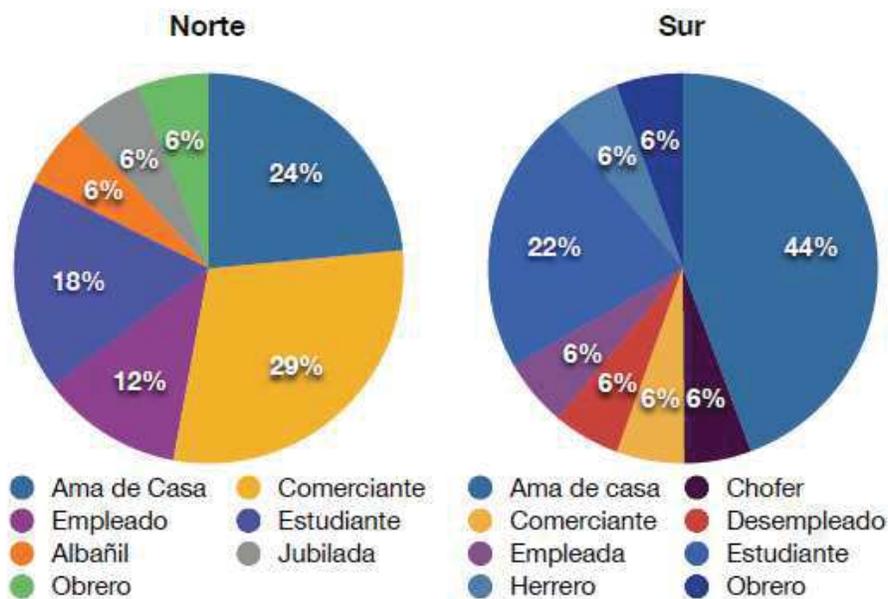


Gráfico 1. Ocupación de población. Fuente IPCo (2010), Encuestas.

En síntesis, determino que la población de las colonias al sur de la ciudad presenta un difícil panorama en el aspecto del desarrollo social y económico debido a la carencia de educativa de los grupos sociales, esto significa que en el desarrollo cognitivo de la población, tienda a realizar trabajos de escasa remuneración económica a las necesidades, extensas jornadas laborales para obtener el ingreso económico suficiente para vivir de la población del polígono sur, dentro de la base de datos de inserción laboral en 2010 del Instituto de Planeación para el municipio de Colima (IPCO) se identifican 8 ocupaciones básicas en la población del polígono sur: ama de casa, comerciante, empleada, herrero, chofer, desempleado, estudiante y obrero, por medio del **gráfico** se determina que en las colonias del sur el 44% de la población desempeña trabajos de herrería, y un 22% realiza trabajos de operario u obrero en la construcción.

En relación de que la población se desempeña laboralmente en trabajos de tareas diarias, los dueños de las empresas en las que trabajan mayoritariamente no ofrecen a los trabajadores acceso de salud, dato que en 2005 según el censo de población de INEGI, al menos 738 habitantes del polígono sur, es decir el 33% de la población, no era derechohabiente a los servicios médicos de las instituciones de salud (IMSS, ISSSTE) ni mucho menos por servicios médicos privados otorgados por la empresa.

En la actualidad la cantidad de personas sin servicios básicos para la salud está disminuyendo debido a la correcta intervención y adaptación en la accesibilidad de la infraestructura adecuada, el Instituto Nacional de Estadística Básica y Geografía (INEGI) determinó en 2010, que el 15% de la población total del polígono no pertenece al padrón del Instituto Nacional del Seguro Social ni a otro en similar.

Fue necesario determinar las características básicas de la población del polígono sur de la ciudad de Colima, para así considerar la calidad de la vivienda y los servicios básicos de la misma, logrando visualizar la situación actual, y la escasa estabilidad en seguridad y recursos que tiene la población colimense.

Para el año 2010 INEGI refleja que el polígono de estudio ubicado en las colonias al sur de la ciudad reflejan una tasa de ocupación del 98%, esto significa que casi en su totalidad la población mantiene una ocupación o realiza actividades para el desarrollo laboral, integrando una tasa de actividad en el sexo masculino de 83% contra un 45% del sexo femenino, es importante destacar la inserción laboral en la zona de estudio, para focalizar, que a pesar que el 98% de la población laborante no impacta en el salario, por el cual no presenta conmoción o significado para fortalecer la prosperidad de la población en aspectos educativos y económicos, en mejora para una vivienda digna y mucho menos para la recuperación de los espacios públicos.

Dada la importancia de la correcta intervención en el polígono sur de la ciudad de Colima se comentó previamente la comparación de datos estadísticos de diferentes censos poblacionales correspondientes a las colonias del sur, para así justificar analíticamente los factores predominantes del impacto precisar la importancia de la apropiación de los espacios públicos en busca de presentar la situación actual de estos y además lograr los objetivos de recreación e integración social en el polígono delimitado.

La recreación es definida por el diccionario de la lengua española (RAE) en 2001, como la acción de las distintas actividades sociales con finalidad en la diversión individual y/o colectiva, debido a que es necesario un espacio libre para el esparcimiento y recreación del tiempo de ocio de la sociedad. Es por medio del apoyo del documento conocido como la “recreación y valores” de Tomas Emilio y Bolaño Mercado en 2002, donde el análisis de Krauss en 1978, se vincula directamente al empoderamiento del espacio público, y es dicha actividad recreativa la cual el individuo experimenta satisfacer de manera deportiva o culturalmente su esencia para su integración en la sociedad.

Ahora bien en el polígono 06002103 delimitado por (SEDATU), que se encuentra ubicado al sur de la estación ferroviaria de la ciudad de Colima, el cual presenta diversos usos de suelo según el Instituto de Planeación para el Municipio de Colima, de los cuales se distinguen en mayor espacio territorial los siguientes: la vivienda unifamiliar, el espacio abierto, espacios para el uso de almacenamiento y/o bodegas de mediano impacto, y el suelo abandonado o sin dato alguno. Siendo estos espacios referentes del impacto negativo al espacio público en la zona sur de la ciudad, por su falta de apropiación por la sociedad, en la actualidad, este impacto crea una realidad altamente lejana a la cual el espacio público fue detallado con anterioridad, olvidando por completo la recreación y ética interacción de la población del polígono sur.

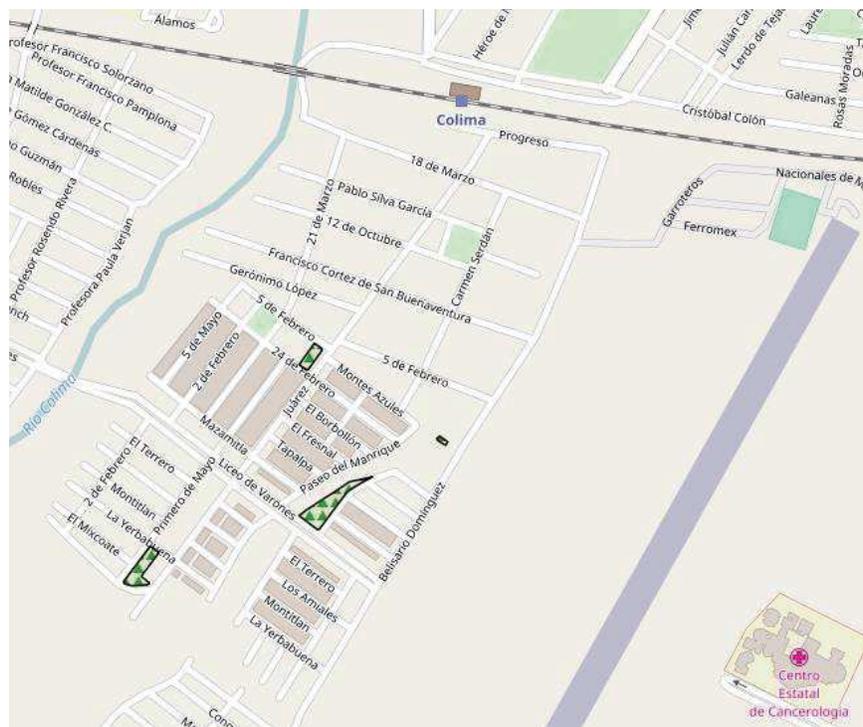


Mapa 1. Usos de suelo, Fuente IPCo (2010), Levantamiento físico

La perspectiva de inseguridad reflejada en el espacio público de la zona sur de la ciudad de Colima es a través del uso indebido, y la falta de mantenimiento de este mismo, este análisis demostrativo busca mediante el rubro patrimonial de la sociedad visualizar la situación en ausencia de la apropiación del individuo a las áreas verdes, escuelas, parques y jardines.

“La necesidad que existe en la especie humana de estar en contacto con el espacio verde, es un hecho ancestral, básico y primordial como la naturaleza misma de la cual provenimos” a partir de encuadrar las palabras de la carta de Atenas por el arquitecto Le Corbuiser en el año 1926, donde la angustia de no contar con el espacio amplio y verde para la recreación social ya era un tema de relevancia y razonamiento, es así como de igual forma el Arquitecto Alejandro Gómez Rey narra en

“la necesidad de áreas verdes en la ciudad” en 2012 dando preeminencia a lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que para garantizar la salud física y mental de los habitantes de las grandes ciudades debe de haber ellas, no menos de 10 m<sup>2</sup> de espacios verdes por persona. Desafortunadamente hasta donde los planes y programas de desarrollo de la ciudad de Colima y el reglamento de zonificación ubican sus periferias, la ciudad no logra las dimensiones de área verde previamente mencionadas, en contexto, el polígono sur de estudio, sobresalen del plano catastral de la ciudad de Colima de 2017, cuatro áreas verdes delimitadas, la más pequeña sobre el paso del Arroyo Manrique al oriente con una superficie de 135.34 m<sup>2</sup>, y la más extensa en Av. Liceo de Varones con una extensión total de 2,682.85 m<sup>2</sup> de área verde, existen de igual forma dos circunscripciones de área verde de menor área, una de ellas ubicada en la intersección de la calle Juárez y 24 de Febrero, el Jardín Vecinal de la colonia Quinta El Tivoli, y la última zona verde arbolada al sur del polígono ubicada en la Av. Canal Peñitas Oriente que alberga una superficie terrestre de 1,620.27 m<sup>2</sup>.



Mapa 2. Uso patrimonial, áreas verdes. (2017), cartografía de la Ciudad de Colima

4.

#### Conclusión.

A lo largo de la presente investigación se lograron describir conceptualmente los fenómenos sociales que el espacio público sufre en el momento que la sociedad demanda su presencia con las diversas actividades que la misma población cotidianamente realiza. El comportamiento de la sociedad como con anterioridad analizamos en el contexto del polígono sur de la ciudad de Colima puede alcanzar niveles extraordinarios en la apropiación de la cultura del barrio, los orígenes y la historia a lo largo del espacio, y al completo abandono del espacio público, por inconsistencia arquitectónica, la falta del sentido y ausencia de signos vitales para el empoderamiento del espacio público.

La obligación de crear espacios públicos seguros, limpios e iluminados, es obligación de los institutos y secretarías de planeación, el diagnóstico social, desarrollo y ejecución, sin embargo es la responsabilidad de la población de mantener en condiciones favorables los espacios públicos habitados, ya que en su defecto la falta de recreación social deprime y frustra emocionalmente a la población, es clave recalcar que el polígono sur de la ciudad de Colima presenta rasgos históricos y contundentes de la segregación poblacional de la zona de estudio, aunado a que esta sociedad es el alma del espacio público, mismo por ser visible y tangible a la percepción humana a diferencia de sus residentes, demuestra en cuenta de la sociedad, los numerosos requerimientos y necesidades para el mejoramiento de ella.

Es mediante la heterogeneidad de la sociedad, la cual definirá el espacio público apropiado para la misma de manera social, económica y cultural. Logrando así la óptima comunicación entre los individuos para generar confianza y respeto entre ellos y al espacio público para así conservar el área pública de recreación necesaria para el desenvolvimiento de la sociedad, claramente el polígono sur de la ciudad de Colima que en la actualidad clama a través del alto grado de pobreza y marginación, mismo que repercute al uso indebido al surgir negativas cualidades del espacio público como el robo, la drogadicción, prostitución y vandalismo.

## 5. Referencias.

1. SEDESOL. (1992). *"Tomo V recreación y Deporte"*. Ciudad de México: Secretaría de Desarrollo Social.
2. Borja, J. (2000). *"Laberintos urbanos en América latina. Espacio Público y ciudadanía."* Quito: Abi-yala
3. Tonelli, I. (2009). *"Rescatando el Plano de Nolli."* 20/04/2017, de Diseño en Palermo. Encuentro Latinoamericano de Diseño Sitio web: [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/encuentro2007/02\\_auspicios\\_publicaciones/actas\\_diseno/articulos\\_pdf/ADC020.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/encuentro2007/02_auspicios_publicaciones/actas_diseno/articulos_pdf/ADC020.pdf)
4. Ricat, N. (2013). *"Reflexiones sobre el Espacio Público."* Universidad de Barcelona: Alianza.
5. Velásquez, C. (2015). *"Espacio público y movilidad urbana."* Barcelona: UB. Universidad de Barcelona.
6. RAE. (2001). *"Recreación"*, en Real Academia Española. A partir de <http://lema.rae.es/drae/?val=Recreación>
7. Ramos, E., Ojeda, R., Báez, D., Martínez, R. y Núñez, E. (2011). *"La recreación: 1. Necesidad y oportunidad para el desarrollo humano desde y para las comunidades."*
  2. EFDeportes Revista digital, 16 (160). A partir de <http://www.efdeportes.com/efd160/la-recreacion-desarrollo-humano-para-comunidades.htm>
8. SEDESOL. (2010). *"Documento diagnóstico de rescate de espacios públicos."* A partir de [http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Sedesol/sppe/dgap/diagnostico/Diagnostico\\_PREP.pdf](http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Sedesol/sppe/dgap/diagnostico/Diagnostico_PREP.pdf)
9. FONSECA RODRÍGUEZ, J. M. (septiembre 2014-febrero 2015). *"La importancia y la apropiación de los espacios públicos en las ciudades;"* en Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad, 4 (7).
10. Reyes, J. (2008). *"Memoria IV Foro Colima y su Región arqueología, antropología e historia."* Colima, México: Gobierno del Estado de Colima, Secretaría de Cultura.
11. Consejo Nacional de Población. (2010). *"Mapas de marginación urbana de las zonas metropolitanas y ciudades de 100 mil o más habitantes."* Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
12. SEDATU. (2014). *"Plan maestro de los polígonos del hábitat"* (2014-2016). Colima, México.
13. Ahumada, A. (2001). *"Pueblo aparte"*. Colima, México: ALIANZA.

14. López, M. (20013) "*Meretrices de Colima durante el Porfiriato y la Revolución*". Colima, México: Universidad de Colima.
15. Lentini, M., Palero, D. (1997). "*El Hacinamiento: La dimensión no visible del déficit habitacional.*" Revista invi N°31, Volumen 12, pp.23-32.
16. Instituto de Planeación para el municipio de Colima. (2011). "*Plan maestro para la zona de la vía del tren.*" Colima, México: H. Ayuntamiento de Colima.
17. Instituto de Planeación para el municipio de Colima (2010). "*Base de datos de inserción laboral en 2010*" Colima, México: H. Ayuntamiento de Colima.
18. Tomas, E. Bolaño, M. (2002). "*Recreación y Valores.*" Barcelona: Editorial Kinesis.
19. Instituto de Planeación para el municipio de Colima. (2011). "*usos de suelo según el Instituto de Planeación para el Municipio de Colima.*" Colima, México: H. Ayuntamiento de Colima.
20. Le Coubusier, Sert, J. (1942). "*Carta a Atenas.*" Marcella: CIAM.
21. Gómez, A. (30 Abril 2012). "*La necesidad de áreas verdes en la Ciudad.*" Revista Infotigre, Volumen 4, N° 33, p.2.
22. Organización Mundial de la Salud (OMS)
23. Plano catastral de la ciudad de Colima de 2017

Proyectos de Ingeniería Multidisciplinaria  
Una muestra del talento mexicano

Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.  
Prolongación Corregidora Norte No. 168, Interior E  
Col. El Cerrito, C.P. 76160, Querétaro, Qro.  
Se tiraron 500 ejemplares, en formato digital pdf, tipo CD  
Tamaño: 35 Mb.

ISBN 978-607-9394-09-7

ISBN: 978-607-9394-09-7



9 786079 394097