

# Diseño de prototipo de direccionamiento de robot tipo Ackerman aplicado a la desinfección de COVID.

## Ackerman-type robot addressing prototype design applied to COVID disinfection.

José Luis Hernández Ameca\* (1).

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la computación, Laboratorio de Sistemas Robóticos (SIRO).

[joseluis.hdzameca@correo.buap.mx](mailto:joseluis.hdzameca@correo.buap.mx).

María del Carmen Báez Salazar (2). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, Laboratorio de Sistemas Robóticos (SIRO), [maria.baezs@alumno.buap.mx](mailto:maria.baezs@alumno.buap.mx).

Luis Enrique Colmenares Guillen (3). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, Laboratorio de Análisis Forense Digital (LAFD), [lecolme@gmail.com](mailto:lecolme@gmail.com).

Elsa Chavira Martínez (4). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, [elsachavira56@hotmail.com](mailto:elsachavira56@hotmail.com).

---

\*corresponding author.

**Artículo recibido en diciembre 17, 2020; aceptado en febrero 16, 2021.**

### Resumen.

*En este trabajo se presentan las fases del proceso de diseño de un sistema de direccionamiento tipo Ackerman, que en un futuro formará parte de un robot móvil para desinfección de espacios físicos, a manera de apoyo en situaciones como la que se vive internacionalmente a causa del virus SARS-CoV-2. En la introducción de este trabajo se contextualiza al lector sobre la importancia de los robots de limpieza en situaciones de contingencia sanitaria y se describe el sistema Ackerman. En el método se muestran las etapas que se han seguido para el desarrollo del prototipo. En el desarrollo se inicia con la definición de la idea, se muestra el dibujo del chasis realizado en dos dimensiones (2D), el modelado en tres dimensiones (3D) de las piezas que conforman el sistema Ackerman, ensamblaje de piezas creadas, estudio de movimiento y detección de interferencias del prototipo. En la última sección se presentan los resultados, conclusiones y se propone como trabajo futuro imprimir, ensamblar y probar el modelo del sistema de direccionamiento Ackerman, así como continuar desarrollando los sistemas de control y potencia del robot de desinfección.*

**Palabras clave:** Sistema de Direccionamiento Ackerman, Diseño Asistido por Computadora, Desinfección, COVID-19.

### Abstract.

*This work presents the phases of the design process of an Ackerman-type addressing system, which in the future will be part of a mobile robot for disinfection of physical spaces, as a support in situations such as the one experienced internationally because of the SARS-CoV-2 virus. In the introduction to this work, the reader is contextualized about the importance of cleaning robots in health contingency situations and the Ackerman system is described. The method shows the stages that have been followed for the development of the prototype. The development begins with*

*the definition of the idea, the chassis drawing made in two dimensions (2D) is shown, the three-dimensional modeling (3D) of the parts that make up the Ackerman system, assembly of parts created, study of movement and interference detection of the prototype. The last section presents the results and conclusions and it is proposed as future work to print, assemble and test the Ackerman addressing system model, as well as to continue developing the control and power systems of the disinfection robot.*

**Keywords:** Ackerman Addressing System, Computer Aided Design, Disinfection, COVID-19.

## 1. Introducción.

Los coronavirus son una extensa familia de virus que pueden causar enfermedades tanto en animales como en humanos. En humanos, se sabe que varios coronavirus causan infecciones respiratorias que pueden ir desde el resfriado común hasta enfermedades más graves como el Síndrome Respiratorio de Oriente Medio (MERS) y el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SRAS). El coronavirus que se ha descubierto más recientemente causa la enfermedad COVID-19. Tanto este nuevo virus como la enfermedad que provoca eran desconocidos antes de que estallara el brote en Wuhan (China) en diciembre de 2019 (Organización Mundial de la Salud, 2019).

Actualmente se utilizan robots móviles en la desinfección de habitaciones y/o superficies contaminadas a causa del virus SARS-CoV-2 como se muestra en los párrafos siguientes.

El Robot UVD fabricado por Blue Ocean Robotics es una herramienta de limpieza para hospitales, ayuda en la desinfección de habitaciones y quirófanos, ha sido utilizado durante la pandemia de COVID-19 en el presente año, la empresa asegura que estos robots pueden eliminar al 99.99% de las bacterias y virus que existieran en las habitaciones gracias a la luz ultravioleta que poseen, en tan sólo 10 minutos. Además, es fácil de usar y está diseñado para ser operado por el personal de limpieza todos los días. El robot UVD ha sido clínicamente probado y verificado en el Hospital Universitario de Odense y en laboratorios microbiológicos independientes (Blue Ocean Robotics, 2020).

Algunas compañías tecnológicas están innovando y comercializando robots para la desinfección, el robot Guoxing Leishen 880T es un ejemplo de esto, el cual se conforma de un chasis que le permite optimizar su desplazamiento mediante dos orugas, con una capacidad de carga de entre 100 y 260 kg., cuenta con un tanque para líquido desinfectante con capacidad de 15 L. y un cañón aspersor de 380°, lo que le permite desinfectar un área de 10,000 m<sup>2</sup>, puede ser utilizado en entornos complejos (Guoxing, 2020).

Científicos de Singapur han inventado un robot desinfectante que imita los gestos humanos para ayudar al personal de limpieza que ha sido desbordado desde el inicio de la crisis del coronavirus. El XDBOT (Robot de extrema desinfección) tiene forma de caja rectangular montada sobre ruedas y armada con un brazo articulado. Llega a lugares difíciles de limpiar, como debajo de las camas o mesas. Creado por investigadores de la Universidad Tecnológica de Nanyang, también contiene un tubo para desinfectar grandes superficies. El robot está dirigido desde un ordenador o una tableta, lo que reduce el riesgo para el personal de resultar infectado por el virus (El Comercio, 2020).

Actualmente se utiliza el direccionamiento Ackerman para el control de robots móviles con un alto grado de estabilidad y maniobrabilidad como se reporta a continuación.

El sistema Ackerman más utilizado es el de ruedas delanteras directrices y traseras motrices, actualmente es el principio básico de los vehículos automotrices. La estabilidad del sistema se debe a la geometría de direccionamiento, que posibilita giros independientes y pivoteos independientes a cada rueda. El principio Ackerman permite cerrar el ángulo de la rueda interior con respecto al exterior (King-Hele & S., 2002).

Se presenta el desarrollo de un controlador para conducir de forma autónoma al robot AutoNOMOS tipo Ackerman, manteniéndolo en su carril. El problema se enfoca en calcular el ángulo de dirección del vehículo, para dar

seguimiento a una trayectoria de referencia; manteniendo el robot en el centro del camino y con una orientación apropiada. El ángulo de dirección es controlado por un servomotor de 5 V. A bordo también se encuentra una computadora Odroid XU4 con el sistema operativo Ubuntu 16.04, cámara digital y sensores (O. & L., 2006).

Para mejorar el control de movimiento y seguimiento de un robot móvil omnidireccional de accionamiento completo, se estudió la dirección Ackerman en proceso dinámico. Primero, se establece el modelo cinemático basado en la estructura física del robot. Luego, la relación entre los parámetros del robot durante el movimiento se deriva de acuerdo con las restricciones dadas por el principio de Ackerman, y se dan la relación de velocidad del motor, la ecuación de estima y la ecuación de movimiento para describir el estado del robot. Finalmente, los resultados de la simulación y el experimento de campo verifican la exactitud del modelo (Oscar, M., & M., 2019).

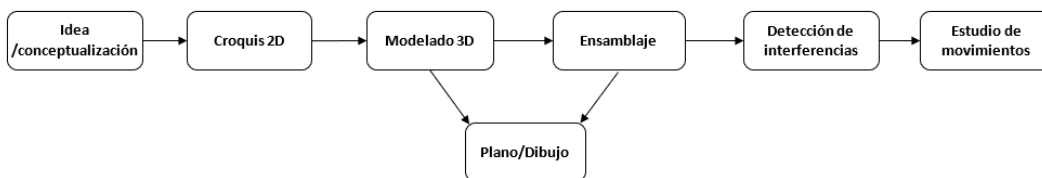
La aplicación del software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) en la ingeniería abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, etc. El proceso de diseño en software CAD consiste en la identificación del problema, ideas preliminares, refinamiento del diseño, análisis y optimización, decisión y resultados (documentación) (Jie, Sheng, Kang, Qiang, & Xiao, 2020).

El problema que se aborda es, el diseño de un prototipo de direccionamiento Ackerman que brinde una gran estabilidad al chasis de un robot móvil orientado a la desinfección de superficies contaminadas. Para lo cual se utilizó la herramienta CAD SolidWorks que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows. Se trata de un software de diseño mecánico con poderosas herramientas que cubren el proceso de desarrollo (creación de modelos sólidos 3D, ensamblajes y dibujos, validación antes de fabricar, comunicación y gestión) de productos (Autodesk, 2020; Dessault Systèmes SolidWorks Corporation, 2020).

## 2. Métodos.

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Sistemas Robóticos (SIRO) de la Facultad de Ciencias de la Computación, el instrumento esencial para trabajar con el CAD fue: una computadora con Windows 10, procesador Core i5 de 7.ª generación, tarjeta gráfica integrada, RAM (por sus siglas en inglés Random Access Memory) de 8 gigabytes (GB) y disco duro de 1 Terabyte (TB).

La metodología del proceso para el diseño del sistema Ackerman utilizando la herramienta CAD se muestra en la figura 1, en los párrafos siguientes se describe detalladamente cada una de las etapas que lo conforman. El plano/dibujo del modelo puede ser creado después del modelado 3D o después del ensamble dependiendo de los resultados a documentar.

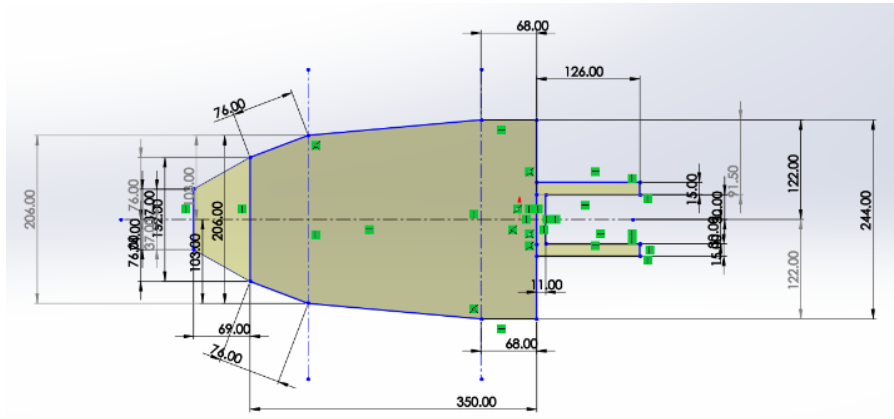


**Figura 1.** Diagrama del proceso utilizado para el diseño del sistema Ackerman.

### 3. Desarrollo.

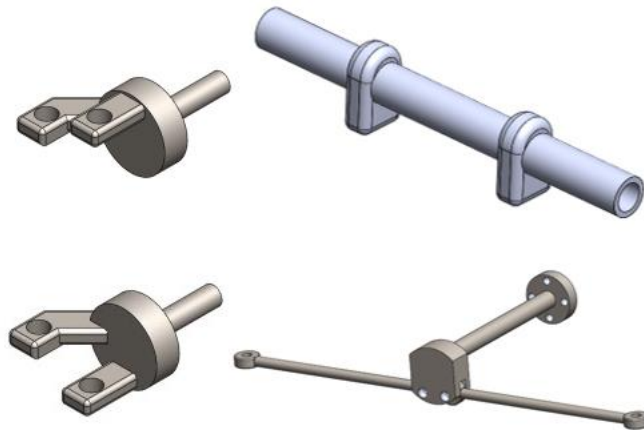
Idea o conceptualización. De acuerdo con la información consultada se definieron los elementos que conforman el sistema de direccionamiento Ackerman: dos manguetas, una varilla de dirección, dos bieletas, dos ruedas, dos brazos, un servomotor, baleros, tuercas y tornillos diseñados parte por parte.

Dibujo o croquis en 2D. Para el desarrollo del croquis en 2D se dibujan los bordes de la figura desde una vista de planta, se crean líneas de apoyo y se agregan las cotas que pueden dimensionarse en milímetros o centímetros de acuerdo con los requerimientos del trabajo, en este caso se optó por trabajar en milímetros, la vista obtenida de croquis 2D se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Vista de croquis 2D.

Modelado 3D. En la etapa de modelado en 3D se realizó la extrusión del croquis 2D. Es donde se dan las dimensiones de espesor a cada pieza (en este caso milímetros), en esta etapa es posible realizar cortes, redondeos, vaciado de piezas, entre otras operaciones, los resultados de esto se muestran en la figura 3.



**Figura 3.** Resultado de modelado en 3D de manguetas (izquierda y derecha), barra estabilizadora, barra de dirección y bieletas.

Ensamble. En esta etapa se obtuvo el “ensamble” realizado al unir todas las piezas que conforman el sistema mecánico y que garantizan su funcionamiento óptimo. Las piezas se agregaron en un archivo de ensamble y se unieron mediante relaciones de posiciones, coincidentes, paralelas, concéntricas y distancias establecidas.

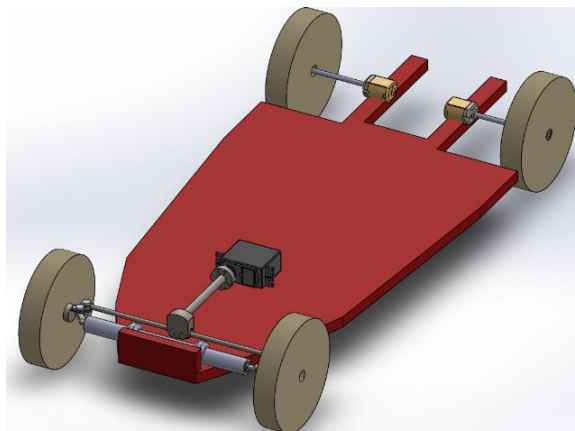
Plano/Dibujo. En esta etapa se obtiene el plano/dibujo del diseño (ensamble) final como parte de la documentación del proyecto, donde se pueden observar las medidas para una mejor visualización y entendimiento de este.

Detección de interferencia. Se realizó el estudio para la detección de interferencias entre los componentes del sistema de dirección. El software cuenta con un complemento que facilita identificar interferencias entre los componentes, proporciona asistencia para examinarlas y evaluarlas. Esta detección de interferencias es útil en ensamblajes complejos, donde es difícil determinar visualmente si los componentes interfieren entre sí.

Estudio de movimiento. Permite simular y analizar con precisión el movimiento de un ensamble a la vez que le incorpora efectos de los elementos de estudio de movimiento para verificar que no existan colisiones entre los componentes.

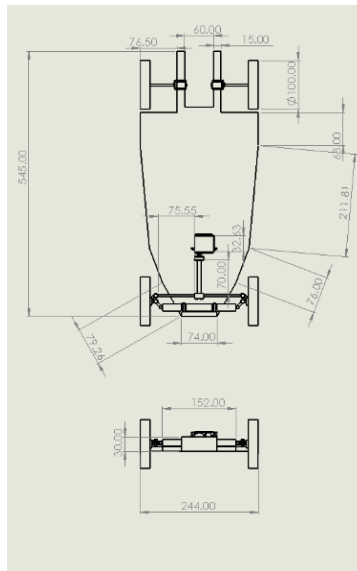
#### 4. Resultados.

Se obtuvo el ensamble final del sistema de direccionamiento Ackerman, que resulta de la unión de los componentes conceptualizados en la etapa de idea, y creados en la etapa de modelado 3D, el diseño terminado de este sistema se muestra en la figura 4.



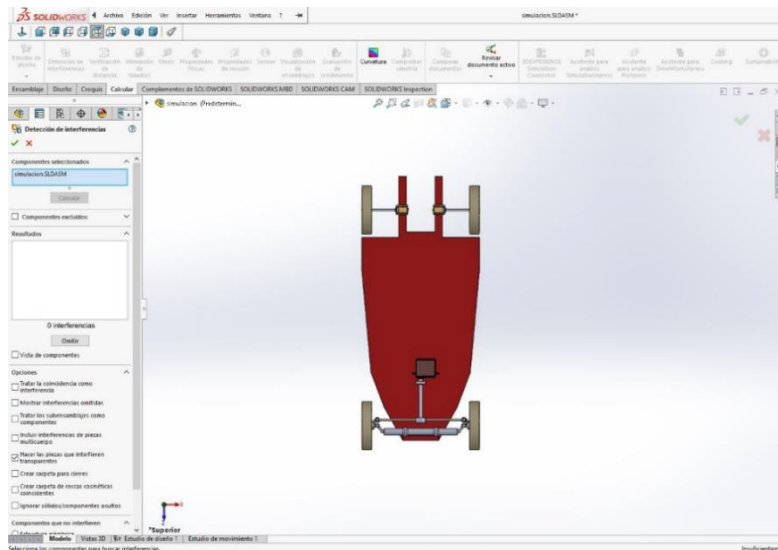
**Figura 4.** Ensamblaje del sistema de direccionamiento del Robot tipo Ackerman.

Como parte de la documentación se tiene el plano/dibujo del ensamble, el cual nos permite visualizar las dimensiones de este sistema, como se muestra en la figura 5.



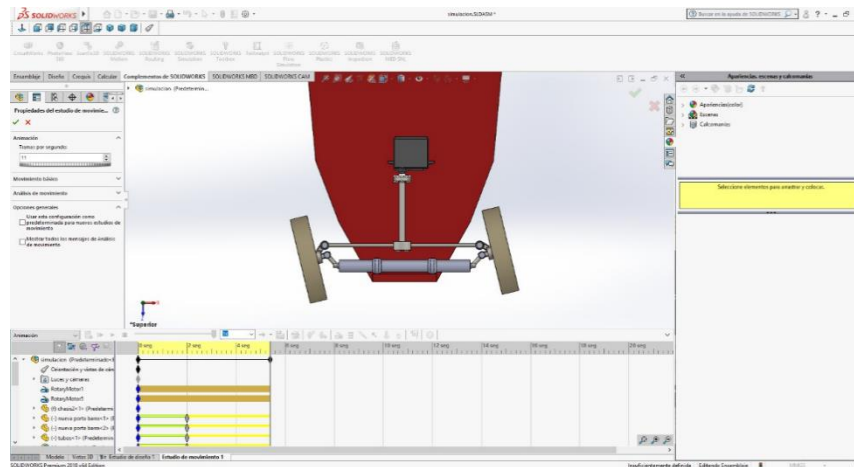
**Figura 5.** Plano/dibujo del ensamble del sistema de direccionamiento Ackerman.

En la figura 6 se muestran los resultados que arroja el software de la detección de interferencias, muestra automáticamente las colisiones entre los componentes, en la barra lateral del asistente muestra que el sistema no detectó interferencias de ningún tipo entre sus componentes.



**Figura 6.** Resultados del estudio de interferencias.

Como resultado del estudio de movimiento, el software simula durante 5 segundos el giro del servomotor que da el movimiento a las ruedas del sistema de direccionamiento Ackerman y detecta la existencia de colisiones entre chasis y ruedas. Como evidencia se presenta la figura 7.



**Figura 7.** Pantalla de resultado de estudio de movimiento.

Mediante las ecuaciones se muestran a continuación se obtuvo el porcentaje de Ackerman, el cual ayuda a mejorar la estabilidad del robot evitando posibles volcaduras debido al peso y velocidad de desplazamiento.

Los datos propuestos para este prototipo son:

Ángulo de giro de rueda virtual ( $rv$ ) =  $20^\circ$ .

Distancia entre base ( $db$ , distancia entre eje delantero y trasero) = 469.18012678 mm.

Longitud del eje ( $le$ ) = 223.3894144mm.

El cálculo del ángulo de la rueda derecha ( $rd$ ) se obtiene con la ecuación 1

$$rd = \arctan\left(\frac{db + \tan rv}{db + 0.5 * le * \tan rv}\right) \quad (1)$$

Sustituyendo en la ecuación 1 los datos propuestos se obtiene el ángulo de la rueda derecha como se muestra a continuación.

$$rd = \arctan\left(\frac{469.18012678 + \tan 20^\circ}{469.18012678 + 0.5 * 223.3894144 * \tan 20^\circ}\right)$$

$$rd = \arctan\left(\frac{469.18012678 + 0.3639702343}{469.18012678 + 0.5 * 223.3894144 * 0.3639702343}\right)$$

$$rd = \arctan\left(\frac{170.7676007}{509.8336755}\right)$$

$$rd = \arctan(0.334947668)$$

$$rd = 18.52^\circ$$

El cálculo del ángulo de la rueda izquierda ( $ri$ ) se obtiene con la ecuación 2.

$$ri = \arctan\left(\frac{db + \tan rv}{db - 0.5 * le * \tan rv}\right) \quad (2)$$

Sustituyendo en la ecuación 2 los datos del diseño previamente creado se obtiene el ángulo de la rueda izquierda como se muestra a continuación.

$$r_i = \arctan\left(\frac{469.18012678 + \tan 20^\circ}{469.18012678 - 0.5 * 223.3894144 * \tan 20^\circ}\right)$$

$$r_i = \arctan\left(\frac{469.18012678 + 0.3639702343}{469.18012678 - 0.5 * 223.3894144 * 0.3639702343}\right)$$

$$r_i = \arctan\left(\frac{170.7676007}{428.526578}\right)$$

$$r_i = \arctan(0.3984994384)$$

$$r_i = 21.73^\circ$$

El porcentaje de Ackerman se obtiene con la ecuación 3.

$$\text{Porcentaje Ackerman} = 100 * \frac{r_d}{r_i} \quad (3)$$

Sustituyendo en la ecuación 3 los datos previamente obtenidos podemos calcular el porcentaje de Ackerman como se muestra a continuación.

$$\text{Porcentaje Ackerman} = 100 * \frac{18.52^\circ}{26.19^\circ}$$

$$\text{Porcentaje Ackerman} = 100 * \frac{18.52^\circ}{21.73^\circ}$$

$$\text{Porcentaje Ackerman} = 100 * 0.852277957$$

$$\text{Porcentaje Ackerman} = 85.23$$

### Conclusiones.

La geometría Ackerman mostró su eficiencia durante la simulación ya que se lograron tener los mismos ángulos de giro de la simulación y los obtenidos en las ecuaciones (rueda exterior con  $18.52^\circ$  e interior con  $21.73^\circ$ ) con lo que se corrobora la geometría Ackerman del 85.23%. Estos parámetros ayudan a mantener la estabilidad del sistema, el cual se ha diseñado para transportar 15 Kg., apoyados en la simulación del software se ha corroborado que no se presentan colisiones entre chasis y llantas.

El uso de herramientas tecnológicas de tipo CAD permiten diseñar y simular sistemas mecánicos con un alto porcentaje de efectividad, por lo que en la actualidad se utilizan ampliamente en los sectores industriales, ya que permiten obtener una visión del modelo terminado antes de implementarlo físicamente, lo cual permite ahorrar tiempo en errores que pueden ser detectados gracias a estas herramientas.

En este trabajo en particular, se realizaron algunas correcciones, de acuerdo con los resultados obtenidos durante la simulación hasta llegar al modelo ideal; como las dimensiones de manguetas y bieletas que permitieran girar libremente a las ruedas sin chocar con el chasis. Por lo que se concluye seguir utilizando este tipo de herramientas para continuar este y otros desarrollos relacionados con el área de la robótica y las ciencias de la computación.



Los retos de la investigación son continuar con las etapas del desarrollo de un brazo robótico y sistema de control para que el robot pueda funcionar como una herramienta tecnológica para la desinfección de superficies o habitaciones que hayan estado en contacto con personas con COVID-19.

### Agradecimientos.

Agradecemos a los integrantes del laboratorio SIRO, que han brindado sus conocimientos, habilidades y experiencias directa e indirectamente durante el desarrollo de esta investigación. A la facultad de Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por brindarnos un espacio físico e instalaciones adecuadas para realizar esta investigación.

### Referencias Bibliográficas.

- Autodesk.** (2020). *SOFTWARE DE DISEÑO CAD*. <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-software>.
- Blue Ocean Robotics.** (2020). *UVD Robots revolutionizing disinfection*. <https://www.uvd-robots.com/>.
- Dassault Systèmes SolidWorks Corporation.** (2020). *SolidWorks*. <https://www.solidworks.com/es>.
- El Comercio.** (2020). *Prueban en Singapur un robot desinfectante contra el coronavirus*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/prueban-singapur-robot-desinfectante-coronavirus.html>
- Guoxing.** (2020). *Guoxing Leishen 880T desinfección plataforma robot*. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/guoxing-leishen-880t-disinfection-robot-platform-62497641931.html?spm=a2700.8699010.normalList.11.2b603a9fwd582X>
- Jie, Z., Sheng, L., Kang, H., Qiang, S., & Xiao, K.** (2020). *Steering Analysis of Omnidirectional Full Drive Mobile Robot in Dynamic Process*. International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 162-165. ISBN:978-1-7281-6518-9.
- King-Hele, D., & S., F. R.** (2002). *Erasmus Darwin's improved design for steering*. The Royal Society, 41-62, DOI:10.1098/rsnr.2002.0166.
- O., O. L., & L., R. R.** (2006). *Diseño asistido por computadora*. Diseño Y Tecnología. Industrial Data, 7-15, ISSN: 1560-9146.
- Organización Mundial de la Salud.** (2019). Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- Oscar, G.-M., M., O.-S. S., & M., I.-Z. J.** (2019). Control basado en campos potenciales para un vehículo autónomo usando realimentación visual. Research in Computing Science, 253–262, ISSN 1870-4069.

### Información de los autores.



**José Luis Hernández Ameca.** Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico del Instituto Tecnológico de Puebla en 2001. En 2005 recibió el título de Maestro en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). En 2017 obtuvo el título de Doctor en Planificación Estratégica y Gestión de la Tecnología de la Universidad Popular Autónoma de Puebla (UPAEP). De 2002 a 2004 trabajó como Ingeniero en el departamento de implementación de proyectos de la empresa digital IUSACEL. Trabaja como Profesor en la facultad de Ciencias de Computación de la BUAP desde 2007, donde su línea de investigación es la robótica y educación.



**María del Carmen Báez Salazar.** Estudiante de la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Actualmente se encuentra realizando su tesis en el laboratorio SIRO. Ha participado con exposición de carteles y conferencias en los congresos: IX Congreso Nacional De Tecnología Aplicada A La Salud (CONTACTS), Congreso Nacional De Ciencias De La Computación (CONACIC 2018 y 2019), Congreso Nacional De Tecnología En La Educación (CONTE 2018, 2019 y 2020). Durante su participación en el Laboratorio SIRO ha participado los concursos "COCOTRON" obteniendo el primer lugar, participo como miembro del comité organizador de VIII Torneo Nacional De Robótica "GUERRA DE DIOSSES 2018 y 2019" Por último ha sido miembro del comité organizador del evento "NOCHE DE LAS ESTRELLAS SEDE BUAP 2018 y 2019".



**Luis Enrique Colmenares Guillén,** realizó sus estudios de la Licenciatura en Computación en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). La Maestría en la Universidad de las Américas Puebla. El doctorado fue realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona España. Actualmente es profesor investigador de la Facultad de Ciencias de la Computación de la BUAP. Perteneció a un cuerpo académico PRODEP consolidado. Es miembro del Registro CONACYT de Evaluadores Acreditados (RCEA). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y a dos redes temáticas CONACYT. Perteneció al padrón de Investigadores y de Consultores de la BUAP. Actualmente tiene publicaciones nacionales e Internacionales, además tiene cuatro patentes registradas y dos títulos de patente. En la Facultad de Ciencias de la Computación ha impartido las cátedras de Sistemas Operativos, Administración de proyectos, Sistemas Distribuidos, Procesamiento Digital de imágenes, Sistemas de tiempo real. Actualmente ha desarrollado algoritmos y sistemas clasificadores para el área de la Inteligencia artificial y reconocimiento de patrones.



**Elsa Chavira Martínez**, Licenciatura en Física, BUAP, la Maestría en Ciencias en Física del Estado Sólido en el Instituto de Física, BUAP y obtuvo en grado de Doctora en Ingeniería Biomédica UAPEP, Posgrado de Excelencia PNP, CONACYT. Como científica e investigadora ha trabajado en: Física de Superficies, Materiales Semiconductores, es especialista en el crecimiento de Silicio monocristalino por la técnica Czochralski, en el campo de la Microelectrónica, ha diseñado diversos Circuitos Integrados de Aplicación Específica. Actualmente está adscrita a la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) en la BUAP, como Profesora - Investigadora Titular A Tiempo Completo.