

# Visual Servoing para robots manipuladores

A. Palma-Asunción<sup>1</sup>, F. Reyes-Cortés<sup>1</sup>, J. Cid-Monjaraz<sup>1</sup>, S. Vergara-Limon<sup>1</sup>, A. Vargas-Treviño<sup>1</sup>

**Resumen**— En este artículo se aborda el problema de control de robots manipuladores mediante la técnica de visual servoing, la cual, consiste en utilizar información visual como parte del lazo del controlador. Se presenta el modelo en el tratamiento de imágenes utilizando el software MATLAB, por medio del cual se hace el reconocimiento del área de trabajo del robot mediante imágenes. Se muestran los resultados experimentales para un robot de transmisión directa de dos grados de libertad en configuración cámara fija.

**Temas claves**— Control de robots manipuladores, procesamiento de imágenes, visión por computadora.

**Abstract**— in this article the problem of robot manipulators control is addressed through visual servoing technique, which is to use visual information as part of the loop controller. The model is presented in image processing using MATLAB software, through which the recognition of the workspace of the robot is done through images. Experimental results are shown for a direct drive robot with two degrees of freedom in setting fixed camera.

**Keywords**— Control, robot, vision.

## I. INTRODUCCIÓN

La robótica y la automatización son disciplinas de alto impacto en aplicaciones de manufactura, en la medicina, en la tecnología, entre muchas otras. A pesar de la existencia de robots comerciales, el diseño de controladores para robots es un área de muchos estudios por parte de los hacedores de robots así como de lugares de investigación del área. La definición propuesta por el *Robot Institute of America* (RIA), un robot es un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializado a través de movimientos programados para la ejecución de diversas tareas [1].

El control en base a la técnica de visión artificial, comúnmente se utiliza para reconocimiento de formas u objetos en cadena de producción, de manera que no incluyen dentro de su control la información visual, sino que solamente es utilizada como una forma de monitoreo, selección o clasificación.

Un componente importante de un sistema robótico es la adquisición, procesamiento e interpretación de la información provista por los sensores. Esta información es utilizada para derivar las señales de control para manejar un robot. La información del sistema y su ambiente puede obtenerse a través de una extensa variedad de sensores: posición, velocidad, fuerza, visión, por mencionar algunos [2]. El control de robots manipuladores empleando información visual es conocido como *visual servoing*, consiste en extraer rasgos distintivos de la imagen y utilizarlos en el lazo de control para cumplir con determinados objetivos de posicionamiento del extremo final del robot en la pantalla de la computadora.

En *visual servoing* se emplea un sistema de visión compuesto por una cámara de video, un algoritmo para procesar imágenes para encontrar la posición en coordenadas cartesianas (píxeles) del extremo final del robot con respecto a un sistema de referencia colocado en el monitor de la computadora. Mediante mapeos de traslación y rotación es posible conocer la ubicación cartesiana del robot respecto a su sistema de referencia de la base del robot, así como sus correspondientes coordenadas articulares usando la cinemática inversa [1]-[6].

Las configuraciones que se pueden dar entre el sistema de visión y el robot manipulador son cámara fija y cámara en mano. En la primera, la cámara CCD es ubicada fuera del espacio de trabajo del robot manipulador tomando escenas del movimiento del robot, el usuario define un punto deseado (coordenadas en píxeles constantes en el monitor de la computadora) y mediante procesamiento básico de imágenes se obtiene la posición del extremo final del robot, esto genera la señal de error de posición visual. Por lo que, el objetivo de control consiste en lograr que el error de posición visual tienda a cero en forma asintótica, conforme el tiempo evoluciona al infinito, es decir, lograr la proyección del extremo final del robot sobre el monitor de la computadora se posicione en los píxeles deseado. Para la configuración cámara en mano consiste en colocar la cámara de video CCD en el extremo final del robot, de tal forma que la cámara tendrá el mismo movimiento que tenga el robot manipulador proporcionando imágenes de los objetos que se encuentran en el espacio de trabajo del robot [1]-[3]-[6]. El objetivo del control consiste en colocar la cámara (extremo final del robot) sobre un objeto deseado.

<sup>1</sup> adilene.buap@gmail.com, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla., FCE-MCEA. Calle 4 Sur 104, Centro Histórico, 72000 Puebla, Puebla, México.

El proceso del análisis de imágenes es del cual, a partir de una imagen se obtiene una medición, interpretación o decisión. El esquema típico del análisis de imágenes consiste en cinco etapas: adquisición de la imagen, procesamiento, segmentación, medición e interpretación. Por medio de las relaciones algebraicas se obtiene una representación matemática para implementar algoritmos y programar métodos computacionales [7].

La tarea en *visual servoing* consiste en posicionar el efector final del robot, con respecto a un objetivo usando las características visuales extraídas desde la imagen [8].

La robótica se complementa con grandes avances mediante la implementación de visual servoing, con esto el buen entendimiento y el desarrollo de aplicaciones de robótica en muchas áreas. Así la robótica se encuentra a la vanguardia en el estudio de e investigación. La gran mayoría de los robots usados en las diferentes industrias están equipados con sistemas de visión, sin embargo, no se explota a la totalidad ya que esta información proporcionada por el sistema de visión no se emplea para alimentar al controlador del robot, sino que simplemente están presentes como un elemento secundario para visualizar imágenes del entorno y no para procesar la información visual para integrar a un lazo de control y generar un sistema versátil.

## II. CONTROL DE ROBOTS USANDO VISIÓN

El modelo matemático determina la regla matemática que relaciona las entradas y salidas del sistema, se obtiene de manera analítica en base a la física que rige el comportamiento del sistema [3].

### A. Modelo matemático del robot manipulador

El modelo dinámico articular de un robot manipulador de  $n$  grados de libertad está dada por la siguiente ecuación [3]-[4]-[6]:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + B\dot{q} + g(q) \quad (1)$$

donde  $q, \dot{q}, \ddot{q} \in R^n$  representan a los vectores de posiciones, velocidades y aceleraciones articulares, respectivamente;  $M(q) \in R^{n \times n}$  es la matriz de inercia, la cual, es simétrica y definida positiva,  $C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$  es la matriz de fuerza centrípeta y de Coriolis,  $g(q) \in R^n$  es el vector de fuerzas o pares gravitacionales debido a la acción de la gravedad y  $B \in R^{n \times n}$  es la matriz de coeficientes de fricción viscosa de cada articulación del robot [5].

El modelo dinámico (1) es una ecuación compleja y acoplada, sin embargo, posee varias propiedades

matemáticas muy importantes que facilitan el análisis de estabilidad. Considere que el robot es del tipo antropomórfico, es decir que todas sus articulaciones son del tipo rotacional, entonces:

Propiedad 1 de antisimetría: la derivada con respecto al tiempo de la matriz de inercia  $\dot{M}(q)$  y la matriz de fuerzas centrípeta y de Coriolis  $C(q, \dot{q})$  satisfacen:

$$\frac{1}{2} \dot{q}^T [ \dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q}) ] \dot{q} = 0, \forall q, \dot{q} \in R^n \quad (2)$$

Propiedad 2: la matriz de inercia  $M(q) \in R^{n \times n}$  es una matriz definida positiva  $M(q) > 0$ , por lo que existe la matriz inversa  $M(q)^{-1}$  y resulta una matriz definida positiva  $M(q)^{-1} > 0$ .

Propiedad 3: La matriz de fuerzas centrípeta y de Coriolis  $C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$  satisface:

$$C(q, \dot{q}) = 0 \in R^{n \times n} \Leftrightarrow \dot{q} = 0 \in R^n, \forall q \in R^n \quad (3)$$

### B. Equivalencia a control cartesiano

Derivado de la metodología Euler-Lagrange, que determina el modelo dinámico en variables de estado cartesiano, se consideran las coordenadas cartesianas y se define la ecuación  $\chi = [x \ y \ z]^T$ , donde  $\chi$  define las coordenadas cartesianas del marco de referencia del robot. Donde  $\dot{\chi} = J(q)\dot{q}$ , donde  $J(q)$  es el Jacobiano del robot. Que resulta de la relación de la cinemática diferencial y la aceleración articular. Por lo tanto, puede definirse  $\ddot{\chi} = J(q)\ddot{q} + \dot{J}(q)\dot{q}$ ,  $\dot{q} = J^{-1}(q)\dot{\chi}$ ,  $\ddot{q} = J^{-1}(q)\ddot{\chi} - J^{-1}(q)\dot{J}(q)\dot{\chi}$ . Donde las  $q$  muestran las coordenadas articulares y  $\chi$  define las coordenadas cartesianas.

El control cartesiano, se entiende por la utilización directa de las coordenadas cartesianas (espacio de trabajo del robot manipulador), en la programación de una posición, usualmente se indica por medio de coordenadas articulares, en este caso, no se hace de esa forma ya que se emplea el uso de las coordenadas cartesianas dentro de un plano, esto facilita la interpretación gráfica de la posición para el usuario.

La metodología del jacobiano transpuesto para controladores cartesianos, la cual, fue propuesta por Suguro Arimoto, permite convertir una estructura de control cartesiana en par aplicado a las articulaciones del robot. Lo cual se conoce como ley fundamental del control cartesiano y se describe como sigue:

$$\tau = J^T(q)f_\chi \quad (4)$$

Donde  $f_x$  es la fuerza cartesiana,  $J(q)$  es el jacobiano del robot y  $\tau$  es el par aplicado a las articulaciones del robot.

C. Algoritmo de control

El problema de control de posición (también conocido como regulación) consiste en mover al extremo final del robot  $q(t)$  hacia una posición deseada  $q_d$ , sin importar las condiciones iniciales  $[q(0), \dot{q}(0)]^T$ . Es decir, se trata de encontrar una ley de control  $\tau$  tal que el error de posición  $\tilde{q}(t)$  y la velocidad de movimiento  $\dot{\tilde{q}}(t)$  tiendan asintóticamente al punto de equilibrio, en otras palabras que el objetivo de control se cumpla:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} \tilde{q}(t) \\ \dot{\tilde{q}}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \in \mathbb{R}^{2n} \quad \forall t \geq 0 \quad (5)$$

Para resolver el problema de control de posición, se propone la siguiente estructura mostrada en la ecuación 6.

$$\tau = K_p(\tilde{q}) \frac{\tilde{q}}{\sqrt{1+\tilde{q}^2}} - K_v(\dot{\tilde{q}}) \frac{\dot{\tilde{q}}}{\sqrt{1+\dot{\tilde{q}}^2}} + g(q) \quad (6)$$

Los datos de posición articular es calculada no por los sensores internos del robot experimental sino en base al algoritmo de visión, el cual, calcula de manera geométrica en base a píxeles los valores de posición angular de cada articulación.

D. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes para la obtención de la información visual para el cerrar el lazo de control del robot, se realizó mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes basado en la Transformada de Hough, el cual calcula los centros de cada marcador (círculo negro) colocados en cada articulación y en el efector final.

En la figura 1, se observa el robot experimental con los marcadores colocados en el extremo final del último eslabón, el codo y el hombro.

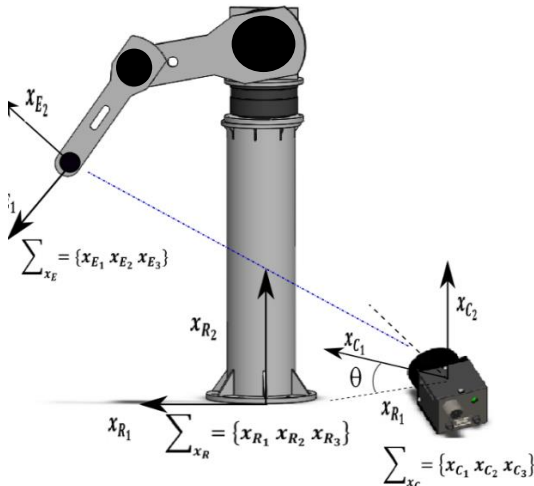


Figura 1. Robot experimental "Rotradi" en configuración cámara fija junto al sistema de visión.

Una vez localizados los píxeles en las referencias del robot, mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes, el cual, tiene como objetivo la localización de los centroides en píxeles de los círculos negros, se tiene la información necesaria para poder determinar geoméricamente los valores articulares a los que corresponde esa posición.

El análisis geométrico se parte ubicando tres puntos como lo muestra la figura 2. Así calculando los ángulos geoméricamente, mediante el uso de conceptos de geometría basado en triángulos rectángulos y semejanza de triángulos se logran las siguientes ecuaciones para el cálculo de las coordenadas articulares  $q_1$  y  $q_2$ .

Las ecuaciones (3) y (9) corresponden a las ecuaciones resultantes de las matemáticas correspondientes para cada coordenada angular.

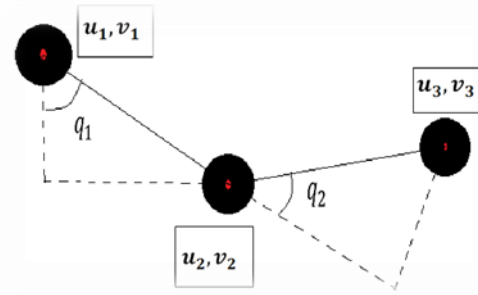


Fig. 2. Ilustración de los marcadores ubicados en el robot manipulador, donde los puntos en rojo determinan las coordenadas en píxeles determinados por el algoritmo. Donde  $u_1, v_1$  corresponden al hombro  $u_2, v_2$  al codo y  $u_3, v_3$  al extremo final del robot.

Primero, tomando de la figura 2, el triángulo rectángulo tomando como hipotenusa el segmento de línea formado por la coordenada en píxeles  $u_1, v_1$  unido a  $u_3, v_3$ , así se obtiene la ecuación (7).

$$q_1 = \tan^{-1} \frac{v_3}{u_3} - \tan^{-1} \frac{l_1 \text{sen}(q_2)}{l_1 + l_2 \cos(q_2)} \quad (7)$$

Para el cálculo de  $q_2$  se propone las ecuaciones (8) a la (12), dando como resultado la ecuación (13).

$$u_3^2 + v_3^2 = (l_1 + l_2 \cos(q_2))^2 + (l_2 \text{sen}(q_2))^2 \quad (8)$$

$$u_3^2 + v_3^2 = l_1^2 + l_2^2 \cos^2(q_2) + 2l_1 l_2 \cos(q_2) + l_2^2 \text{sen}^2(q_2) \quad (9)$$

$$u_3^2 + v_3^2 = l_1^2 + 2l_1l_2 \cos(q_2) + l_2^2(\cos^2(q_2) + \text{sen}^2(q_2)) \quad (10)$$

$$u_3^2 + v_3^2 = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos(q_2) \quad (11)$$

$$\frac{u_3^2 + v_3^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} = \cos(q_2) \quad (12)$$

$$\cos^{-1} \frac{u_3^2 + v_3^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} = q_2 \quad (13)$$

E. Resultados experimentales

En la figura 3 y en la figura 4 se ilustra el resultado del procesamiento de imágenes basado en la Transformada de Houhg que se implementó en MATLAB para la identificación de los centros de los marcadores colocados sobre el robot experimental.

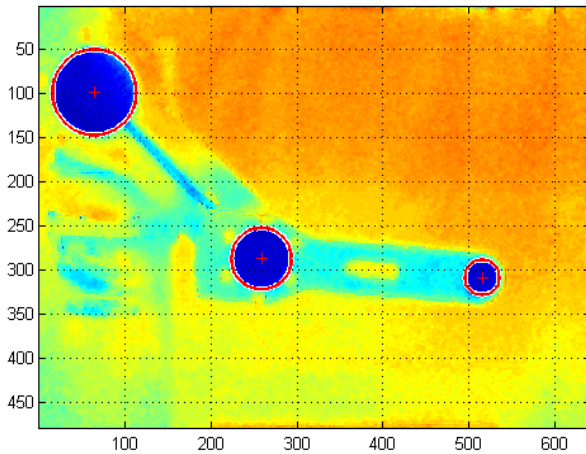


Figura 3. Resultado del algoritmo de procesamiento de imágenes para la detección de los centros de los marcadores sobre el robot experimental.

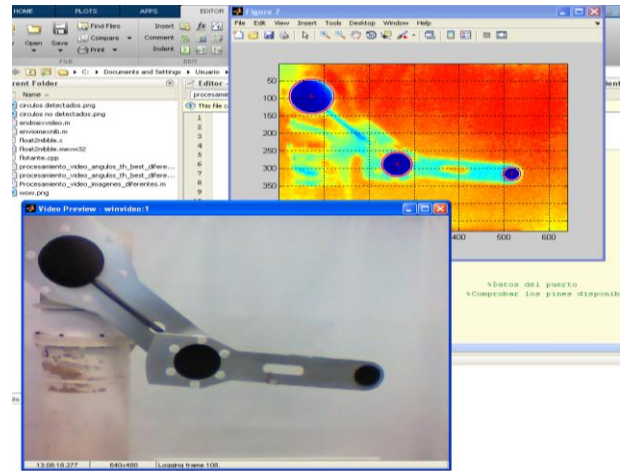


Figura 4. Resultado de la información que obtiene la cámara CCD y el algoritmo de procesamiento de imágenes en el mismo tiempo, se observa el plano de la cámara valuado en píxeles.

De los resultados experimentales se tiene que se detecta de manera adecuada la ubicación de los centroides de los marcadores, esto sirve para obtener las coordenadas en píxeles de la posición del robot en su espacio de trabajo y esto a su vez para detectar el valor de las coordenadas articulares del robot usando únicamente el valor de los píxeles obtenidos por la información visual tomada por una cámara tipo CCD.

Al tener la información visual necesaria para el control de posición del robot y a su vez teniendo la prueba de estabilidad del controlador por vía Lyapunov de estabilidad se realizan las calibraciones y pruebas necesarias del sistema de visión y del sistema robótico, ver figura 1.

Tales pruebas con la comunicación necesaria y la sintonía de las ganancias del control visual se obtienen los resultados adecuados del posicionamiento del extremo final en la coordenada cartesiana deseada, es decir, se cumple con la ecuación (14).

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} \tilde{q}(t) \\ \dot{\tilde{q}}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \in \mathbb{R}^{2n} \quad \forall t \geq 0. \quad (14)$$

F. Conclusiones

Con los resultados experimentales se valida la aplicación de la visión artificial y el procesamiento de imágenes para una aplicación específica e importante como lo es el control de robots manipuladores, asimismo con los resultados del experimento se hacen válidos y correctos los modelos matemáticos que implica un sistema de visión en sus diferentes configuraciones.

De los modelos de visión se enfoca al mapeo de coordenadas cartesianas a coordenadas articulares, para la

aplicación a cerrar el lazo de control de los robots manipuladores experimentales con sus respectivas modificaciones para el empleo de las configuraciones cámara fija y cámara en mano. Mediante el uso de herramientas de procesamiento de imágenes se pueden extraer rasgos distintivos de una imagen para poder interpretar y tomar decisiones, tales decisiones no podrían llevar a cabo de manera satisfactoria sino se tuviera la calibración de los sistemas de visión así como los algoritmos que nos determinen la información de coordenadas en píxeles y en ángulos.

Abordar el control de posición por medio de la técnica de *visual servoing* aplicado a un robot experimental abre el camino a una gran área de investigación con la que se pretende abordar grandes problemas de la industria automotriz, médica, de alimentos, entre muchas otras, ya que el relacionar el sentido de visión en modelos de control y no sólo como elemento secundario de vigilancia como comúnmente se tiene, implica grandes ventajas y presenta grandes retos científicos y académicos a resolver.

Se examina la teoría de control cartesiano para la validación y demostración de controladores por medio de información visual en aplicaciones robóticas.

### III. APÉNDICE A: DATOS DEL ROBOT EXPERIMENTAL

Con la finalidad de evaluar experimentalmente la propuesta del algoritmo de control, la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla cuenta con 6 robots de transmisión directa de 3 grados de libertad cada uno con movimiento en el espacio tridimensional. En la figura 5, se muestra el prototipo del robot manipulador con que fueron desarrolladas las pruebas experimentales de control de posición para el algoritmo propuesto. Este prototipo tiene arquitectura abierta, es decir se puede implementar y evaluar cualquier estructura de control para robots manipuladores.

El robot consiste de tres articulaciones utilizando servomotores de transmisión directa cuyas características principales se muestran en la tabla I, los eslabones fueron fabricados de aluminio 6061; los servomotores son configurados en modo par tal que aceptan una señal analógica de la computadora y la convierten a energía aplicada  $\tau$  (algoritmo de control) a las articulaciones del robot para producir movimiento mecánico y de esta forma el robot se pueda desplazar en su espacio de trabajo [6].



Figura 5. Robot experimental "Rotradi"

Tabla I. Características de los servo actuadores del robot manipulador experimental

| Articulación | Modelo del servomotor | Torque Máximo | Resolución pulsos/rev |
|--------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Base         | DM-1015B              | 15 Nm         | 1,024,000             |
| Codo         | DM-1050A              | 50 Nm         | 1,024,000             |
| Hombro       | DM-1004C              | 4 Nm          | 1,024,000             |

Para enviar y recibir las señales de los servomotores se utiliza una tarjeta de instrumentación de la compañía Precision Micro Dynamics modelo LC228.

La tarjeta LC228 se conecta al bus PCI y trabaja con un procesador DSP en punto flotante, permitiéndonos trabajar a grandes velocidades en tiempo real. Contiene 4 DAC's de 12 bits, decodificadores de cuadratura, entradas y salidas digitales, timers entre lo más relevante para nuestra aplicación. Todos los algoritmos de control han sido escritos en código C y se ejecutan en tiempo real, empleando un período de muestreo de 2.5 ms.

Las señales de velocidad de los servomotores son obtenidas por el método estándar de diferenciación numérica, también conocido como método de Euler.

Para realizar la implementación de los algoritmos de control se diseñó un ambiente de programación amigable orientado (en visual C++ para plataforma Windows XP) al desarrollo de esquemas de control para robots manipuladores. Este ambiente contiene todas las herramientas que requiere el usuario para llevar a cabo la evaluación experimental en forma sencilla.

#### IV. AGRADECIMIENTOS

Sin olvidar agradecer a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por la facilidad para hacer uso del laboratorio de Robótica y Automatización de la Maestría en Ciencias de la Electrónica, Opción Automatización.

A los asesores que apoyaron de guía para llevar a culminación este trabajo y el tiempo brindado, muchas gracias.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Reyes Cortés F. (1997). "Control de un robot de transmisión directa de dos grados de libertad". Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada, Baja California, México.
- [2] N. Papanikolopoulos (1994). "Adaptive control, Visual Servoing and Controlled Active Vision". *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, San Diego.
- [3] Kelly, R. y Santibáñez V. (2003). *Control de movimiento de robots manipuladores*, vol. I. México: Prentice Hall.
- [4] Sciavicco L., Siciliano B. (2001), *Modelling and Control of Robot Manipulators*, 2nd ed., London: Springer-Verlag.
- [5] Víctor Santibáñez, Rafael Kelly, and Miguel Angel Llamas (2004, February). "Global asymptotic stability of a tracking sectorial fuzzy controller for robot manipulators". *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics- Part B*, Vol. 34 No. 1, Pp. 710-718.
- [6] Palma A. A. y Reyes C. F. (2013), "Control de Robots Manipuladores mediante retroalimentación visual" en Congreso Nacional de Mecatrónica, registro 014.
- [7] D. Mery (2004) "Visión por computador". Universidad Católica de Chile, Departamento de Ciencias de la Computación. Santiago de Chile.
- [8] Corke Peter. (2013). "*Robotics, vision and control, fundamental algorithms in MATLAB*", pag. 455-456. Springer tracts in advanced robotics 73.Germany

#### VI. BIOGRAFÍAS



**Palma Asunción Adilene**, nació el 11 de noviembre de 1990 en Axochiapan, Morelos, México. Fue graduada de la licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica por la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en el año 2013 en México.

Ella ha laborado profesionalmente como ingeniero en el Departamento de domótica en diseño y programación de Av Prestige S.A. de C.V., asimismo ella ha laborado en el Área de Corrección y Mantenimiento del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Ella, actualmente (2013) estudia la Maestría en Ciencias de la Electrónica, opción en Automatización, en la Facultad en Ciencias de la Electrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en México. Sus áreas de trabajo e interés son la robótica, visión artificial, procesamiento de imágenes y bioméica.

La Ing. Palma realizó la defensa de tesis titulada Control de movimiento de robots manipuladores mediante información visual, actualmente, trabaja en la tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias titulada Control visual de robots manipuladores.



**Reyes Cortés Fernando** Nació en la ciudad de Puebla el 7 de marzo de 1962; es Licenciado en Electrónica, por la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (1980-1984). Maestría en Ciencias, con Especialidad en Electrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE, 1989 a 1991). Doctor en Ciencias con Especialidad en Electrónica y

Telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE, 1994-1997).

Actualmente Él es profesor investigador de la Facultad de Ciencias de la Electrónica en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en México.

El Dr. Reyes fue Premio Estatal de Ciencia y Tecnología por el Gobierno del Estado de Puebla (CONCYTEP, 2001). Premio al Mérito Civil en Ingeniería y Tecnología por el Ayuntamiento de Puebla, 2010. Es autor de más de 350 artículos científicos nacionales e internacionales, 4 libros de texto universitarios del área de robótica y mecatrónica, ha graduado a más de 145 tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Ha desarrollado más de 50 prototipos tecnológicos robóticos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1993 a la fecha (Nivel I).



**Jaime Cid Monjaraz** Nació en Puebla, Pue, México el 28 de enero de 1959. Realizó su licenciatura en Electrónica en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP en 1985, Maestría en Control Automático en el Instituto Tecnológico de Puebla en 1995 y el Doctorado en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla en el año de 2007 en Puebla, México.

El actualmente labora en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, es el Coordinador de Transferencia de Tecnología de la Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento. Profesor en la BUAP desde 1981 a la fecha impartiendo los cursos en las áreas de Matemáticas, Ciencias Computacionales, Electrónica, Robótica y Control. Es autor de 3 libros, con más de 100 publicaciones científicas, en congresos nacionales e internacionales y revistas, asesor en más de 50 trabajos de tesis profesionales de licenciatura y maestría, tiene 4 solicitudes de patente, su línea de investigación es en visión y Robótica.

Dr. Cid es senior member del IEEE y miembro de distintas asociaciones académicas y científicas. Ha sido Director de la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la BUAP, Director de Divulgación Científica de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP, miembro del Padrón de Investigadores de la VIEP y del Padrón de Consultores de la BUAP.



**Sergio Vergara Limon**, nació en la ciudad de Puebla, Puebla el 7 de Octubre de 1970. Licenciatura en Electrónica FCE-BUAP Puebla, Puebla, México, 1994. Maestría en Ciencias especialidad en Optoelectrónica FCFM-BUAP, Puebla, Puebla, México, 1997, Doctorado en Ciencias especialidad en Optoelectrónica, FCFM-BUAP, Puebla, Puebla, México, 2000.

Él es desde el 2005 Profesor Investigador en la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la BUAP en la ciudad de Puebla, Puebla, México, sus líneas de investigación son la instrumentación electrónica, la robótica, el control y la automatización.

El Dr. Vergara pertenece al Sistema Nacional de Investigadores nivel I, posee perfil PROMEP y es coordinador de la Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, es autor de más de 100 artículos en revistas indexadas, asesor de 24 tesis de maestría terminadas y una de doctorado, tiene colaboración internacional con el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares CERN en el experimento ALICE.



**Maria Aurora Diozcora Vargas Treviño,** nació en la ciudad de Puebla, Puebla el 14 de Diciembre de 1972. Licenciatura en Electrónica FCE-BUAP Puebla, Puebla, México, 1994. Maestría en Ciencias especialidad en Optoelectrónica FCFM-BUAP, Puebla, Puebla, México, 1997, Doctorado en Ciencias especialidad en Optoelectrónica, FCFM-BUAP, Puebla, Puebla, México, 2000.

Ella es desde el 2005 Profesor Investigador en la Facultad de Ciencias de la Electrónica de la BUAP en la ciudad de Puebla, Puebla, México, sus líneas de investigación son la instrumentación electrónica, la robótica, el control y la automatización.

La Dra. Vargas pertenece al Sistema Nacional de Investigadores nivel I, posee perfil PROMEP y es profesora de la Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, es autor de más de 100 artículos en revistas indexadas, asesor de 24 tesis de maestría terminadas, tiene colaboración internacional con el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares CERN en el experimento ALICE.