

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR DIGITAL SEMICUANTITATIVO DE GLÓBULOS ROJOS EN SANGRE

Selin Karin Almeraya Zamudio¹, Said Karim Almeraya Morales²,
Jorge Refugio Reyna De La Rosa³ y Alma Yadira Quiñonez Carrillo⁴

Resumen—El presente trabajo muestra diseño y construcción de un medidor digital semicuantitativo de glóbulos rojos en sangre, incluye el procedimiento en el desarrollo de un dispositivo que permite la estimación de la cantidad de glóbulos rojos en sangre sin la necesidad de punción venosa. El detector utiliza un sensor fotosensible y un diodo emisor de luz (LED) rojo para la valoración, se sustenta en la cantidad de luz que incide sobre el detector. Al variar la intensidad de luz que recibe el sensor, de forma proporcional modifica la cantidad de corriente que circula en él. Esta variación en corriente provocará una variación en la caída de voltaje por medio de una resistencia. Estos valores son leídos por un microcontrolador que despliega en pantalla una cantidad aproximada de glóbulos rojos. El algoritmo utilizado en el presente proyecto relaciona la cantidad de glóbulos rojos con base al nivel de voltaje leído por el microcontrolador. Los procedimientos matemáticas representan líneas rectas que relacionan los puntos extremos en los datos obtenidos en un proceso de muestreo en pacientes que solicitaron el estudio de biometría hemática.

Palabras clave—Glóbulos rojos, Anemia, LED, Línea Recta, Luz, Microcontrolador, Sensor foto sensible.

Introducción

La finalidad del proyecto consiste en crear un indicador presuntivo de anemia con el cual se pueda realizar una estimación de la cantidad de glóbulos rojos en sangre en función de la cantidad de luz que pasa a través del dedo índice del paciente. Además, se pretende agilizar el proceso de diagnóstico en caso de haber una gran cantidad de personas. En este momento no existe un detector o un método no invasivo para la estimación de la cantidad de glóbulos rojos. En consecuencia, el presente trabajo de investigación procura el diseño de un medidor semicuantitativo de glóbulos rojos en la sangre.

Dado que, a mayor densidad celular, existirá una menor cantidad de luz roja que pasa a través del dedo del paciente y, en consecuencia, el sensor fotosensible recibirá un menor estímulo lumínico que provocará un menor voltaje de salida. Ahora bien, el caso contrario se presentará cuando la densidad celular sea menor. Por consiguiente, el sensor fotosensible será mayormente excitado y como resultado, existirá un mayor voltaje a la salida de este. En efecto, el sensor foto sensible recibirá tal estímulo lumínico que provocará un aumento en el voltaje de salida de este. El dispositivo fotosensible por utilizar consiste en un fototransistor con encapsulado transparente que le permitirá recibir la radiación del LED rojo encima de él.

De acuerdo con Cegarra Sanmartín (2012), el comienzo de las técnicas de conteo de los elementos formes de la sangre se remonta al año 1852 cuando Karl Vierdot publica tres artículos en la revista Archives für Physiologie 16. A esta época, se remonta la aparición de los primeros hemocitómetros, cuyo objetivo era medir la riqueza de la sangre según su opacidad.

En términos de número de células, en hombres el rango normal es de 4,7 a 6,1 millones de células por μL , y en mujeres entre 4,2 y 5,4 millones de células por μL (Walker, 2018).

Descripción del Método

El proyecto se divide en seis pasos que son: (a) Diseño del circuito del medidor semicuantitativo de glóbulos rojos, (b) construcción del circuito, (c) realización del proceso de muestreo para la obtención de datos, (d) análisis de los datos obtenidos durante el proceso de muestreo, (e) diseño de software y (f) evaluación de las ecuaciones obtenidas en el proceso de análisis con los datos del muestreo.

Diseño. El circuito del medidor semicuantitativo de glóbulos rojos se compone de cuatro partes: (a) el circuito óptico para la toma de muestra compuesto por un diodo emisor de luz de color rojo y el sensor

¹ El QBP Selin Karin Almeraya Zamudio es Profesor en el área Física, Química y Biología a nivel secundaria; Maestro en Ciencias de la Salud en educación media superior almerayamorales@hotmail.com

² El C. Said Karim Almeraya Morales es pasante de Ingeniería electrónica por el Instituto Tecnológico Mazatlán del Tecnológico Nacional de México 14100013@itmazatlan.edu.mx

³ El Dr. Jorge Refugio Reyna De La Rosa es Profesor de Electrónica de Potencia y Maquinas Eléctricas en Instituto Tecnológico Mazatlán del Tecnológico Nacional de México reynajr@itmazatlan.edu.mx

⁴ La Dra. Alma Yadira Quiñonez Carrillo es Profesora e Investigadora de la Facultad de Informática Mazatlán de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Es líder del Cuerpo Académico en Consolidación: "Tendencias e Innovaciones Tecnológicas en la Robótica y la Educación" yadiraqui@uas.edu.mx

fototransistor, (b) el circuito amplificador de señal proveniente del sensor fototransistor, (c) el circuito que se encarga de acondicionar la señal de entrada procedente del amplificador de señal y (d) el circuito de procesamiento digital compuesto por un microcontrolador ATMEGA328P con todos los elementos necesarios para poder operar apropiadamente. Además, en esta etapa se incluye el elemento de despliegue de datos compuesto por una pantalla LCD de 16 caracteres por dos filas. Por último, la etapa reguladora de voltajes que se encarga de entregar los voltajes necesarios para la correcta operación de las etapas anteriores. En la figura 1 se muestra el diagrama completo del circuito del dispositivo.

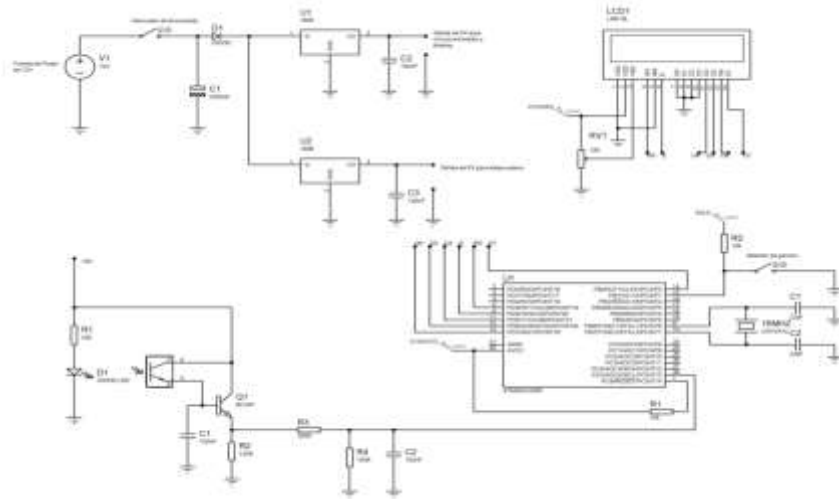


Figura 1. Diagrama completo del medidor semicuantitativo de glóbulos rojos.

El circuito óptico para la toma de muestras se compone de un elemento LED y un fototransistor que incluye todos los elementos necesarios para poder adecuar la señal de salida de dicha etapa para el microcontrolador. La utilización de un LED rojo radica en el hecho de que la longitud de onda roja es fácilmente absorbida por las células sanguíneas de interés. En este caso, los glóbulos rojos.

El elemento emisor de luz se compone por un LED de color rojo que se encuentra polarizado directamente a través de una resistencia de 330 Ohms. Esta resistencia asegura que el LED trabaje con la cantidad de corriente necesaria para emitir el máximo de luz sin estropearse.

La corriente circulante por el LED es:

$$I_{LED} = (V_s - V_{LED}) / R_{LED} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

I_{LED} = Es la corriente circulante a través del circuito serie formado por la resistencia y el LED.

V_s = Es el voltaje de la fuente de alimentación.

V_{LED} = Es la caída de voltaje a través del LED.

R_{LED} = Es la resistencia en serie con el LED.

$$I_{LED} = (8V - 1.8V) / 330\Omega = 18.7mA \quad \text{Ec. 2}$$

La intensidad de corriente máxima para un LED rojo convencional es de 20mA. La luminosidad aumentará según aumentemos la intensidad, pero habrá que tener en cuenta la máxima intensidad que soporta el LED (Universidad de Granada, 2018).

El circuito amplificador de señal permite aumentar la corriente proveniente del sensor. Esta es la tarea del transistor bipolar NPN BC547. Este elemento semiconductor es un transistor NPN de propósito general. Su función es la de amplificar la corriente procedente del emisor del fototransistor receptor.

En el caso de la unidad que se utiliza para la toma de muestras, la unidad óptica, se utilizó un tubo acoplador de PVC de tres entradas. La colocación del sensor óptico y del diodo emisor de luz se realizó de tal manera que se aproveche la mayor cantidad de luz que puede emitir dicho LED. Esto es, el sensor fototransistor se encuentra frente al diodo emisor de luz, a una distancia de 2 cm. El espacio entre estos dispositivos lo ocupará el dedo índice de la persona que se vaya a realizar la medición.

Una vez ensamblada toda la circuitería interna y el cableado para la conexión de los diferentes elementos que componen el aparato, es necesario ubicar estos elementos en una caja plástica para proyectos. De esta manera, el detector se encontrará listo para realizar el proceso de muestreo. En la figura 2 se presenta el dispositivo final con todos los componentes ubicados en su caja plástica.



Figura 2. Acabado final del medidor semicuantitativo de glóbulos rojos.

Realización del proceso de muestreo para la obtención de datos. Con el fin de programar el dispositivo, es necesaria la realización de un muestreo que involucre la obtención de datos referentes a la cantidad de glóbulos rojos en relación con la cantidad de voltaje medido por la máquina.

Inicialmente, el equipo se programó inicialmente para que se arrojaran en pantalla valores de voltaje. Se hizo una lista de 62 personas de diversas edades, donde, cada una de ellas iba a realizarse el examen de biometría hemática (BH).

El proceso de muestreo se realizó en las instalaciones del hospital general Dr. Martiniano Carvajal ubicado entre Avenida de las Américas y calle Del Ferrocarril, colonia Santa Elena. La toma de muestras para la realización de los análisis clínicos para todos los pacientes empieza a las 7:30 a.m.

Para realizar la muestra, en este caso no invasiva, fue necesario ubicarse en uno de los tres cubículos destinados para la toma de muestras. Una vez realizada la extracción de sangre del paciente, se le solicitaba a éste su cooperación para un estudio relacionado con la cantidad de glóbulos rojos de cada paciente.

Análisis de los datos obtenidos durante el proceso de muestreo. Se encontró una relación entre la cantidad de glóbulos rojos con los niveles de voltaje obtenidos por la máquina. Esto es, de las 58 personas que comprenden el total de las muestras efectivas, 41 personas son mujeres y 17 personas son hombres. Dentro de esa población de 41 personas, hubo diferencias entre los rangos en cuanto a densidad de glóbulos rojos en millones de unidades por microlitro. En la figura 3 se muestran las cantidades porcentuales de personas que se encuentran en los diferentes rangos en cuanto a cantidad de glóbulos rojos se refiere.

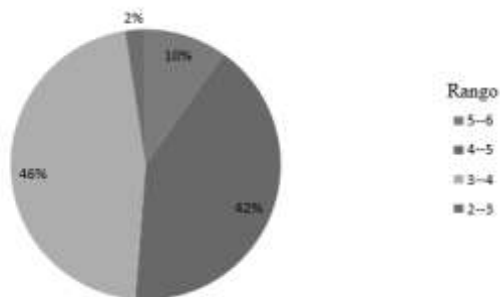


Figura 3. Porcentaje de personas en los distintos rangos de cantidad de glóbulos rojos en mujeres.

En cuanto a hombres, en la figura 4 se muestran los porcentajes de pacientes que entran en los diferentes rangos respecto a la cantidad de glóbulos rojos.

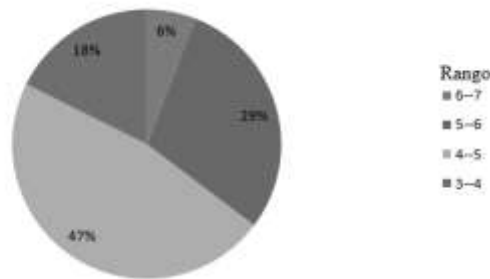


Figura 4. Porcentaje de personas en los distintos rangos de cantidad de glóbulos rojos en hombres.

En base a estos porcentajes anteriormente mostrados, es posible determinar cuál es la parte de la población que cae dentro de un determinado rango de cantidad de glóbulos rojos. En el caso del gráfico para la población femenina, se tiene que el 46% de ellas cae en un rango de valores para cantidad de glóbulos rojos de 3 a 4 millones de unidades por microlitro de sangre, mientras que, para la parte de la población compuesta por hombres, la mayoría cae en el rango de 4 a 5 millones de unidades de glóbulos rojos por microlitro de sangre.

Utilizando estos porcentajes, se establecerán los parámetros necesarios para ajustar una línea recta que permita calcular y arrojar de manera aproximada una cantidad de glóbulos rojos dentro de un rango específico. Se utilizarán los puntos extremos de la tabla que relacionan la cantidad de glóbulos rojos con el nivel de voltaje obtenido para mujeres y hombres.

Para el caso de la población femenina, se tienen que los puntos extremos para formar la recta son: 3.86 millones de glóbulos rojos por microlitro de sangre y un voltaje de 0.14V contra 3.43 millones de glóbulos rojos por microlitro de sangre y un voltaje de 0.83V.

Entonces, las coordenadas son: (3.86, 0.14) y (3.43, 0.83). De acuerdo con la fórmula para encontrar la pendiente de una recta, se tiene que:

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \quad \text{Ec. 3}$$

Si $y_2 = 0.14$, $y_1 = 0.83$, $x_2 = 3.86$ y $x_1 = 3.43$; la pendiente de la recta es:

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = (0.14 - 0.83) / (3.86 - 3.43) = -1.604 \quad \text{Ec. 4}$$

La forma general para la ecuación de una recta es:

$$y = mx + b \quad \text{Ec. 5}$$

La ecuación de la recta que relaciona la cantidad de glóbulos rojos con niveles de voltaje en mujeres es:

$$y = -1.604x + 6.14 \quad \text{Ec. 6}$$

Para la población masculina, se tienen los siguientes puntos: 6.11 millones de glóbulos rojos por microlitro de sangre y un voltaje de 0.11V contra 3.45 millones de glóbulos rojos por microlitro de sangre y un voltaje de 0.43V.

Las coordenadas son: (6.11, 0.11) y (3.45, 0.43).

Utilizando la fórmula para encontrar la pendiente, se tiene que:

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = (0.11 - 0.43) / (6.11 - 3.45) = -0.120 \quad \text{Ec. 7}$$

La ecuación de la recta que relaciona la cantidad de glóbulos rojos con niveles de voltaje en hombres es:

$$y = -0.120x + 0.85 \quad \text{Ec. 8}$$

Diseño de software. El siguiente paso consiste en la creación de un software escrito en la plataforma Arduino que permita al microcontrolador ATMEGA328P realizar una estimación de la cantidad de glóbulos rojos en base al voltaje proporcionado a su entrada analógica.

Primeramente, el microcontrolador hace una lectura de la cantidad de voltaje proveniente del pin A5 (entrada analógica) del mismo.

Posteriormente, realiza un escaneo del estado del pin donde se encuentra ubicado el interruptor de selección de género. Esto es, si la persona que se va a realizar la medición es hombre el interruptor debe estar cerrado. Si el paciente se trata de una mujer, entonces el interruptor debe estar abierto. Luego, dependiendo del nivel de voltaje proveniente del sensor óptico, se mostrarán los siguientes mensajes en pantalla: (a) Si no hay dedo insertado, se mostrará en pantalla "Inserte Índice", (b) Si la lectura es cero (hay obstrucción total del sensor óptico), se mostrará en pantalla "Lectura errónea" y (c) si no se cumplen las dos condiciones anteriores, se procederá al cálculo de la estimación de glóbulos rojos en base al voltaje.

En la figura 5 se presenta un diagrama de flujo que permite al microcontrolador estimar la cantidad de glóbulos rojos en conjunto con las condiciones previamente mencionadas.

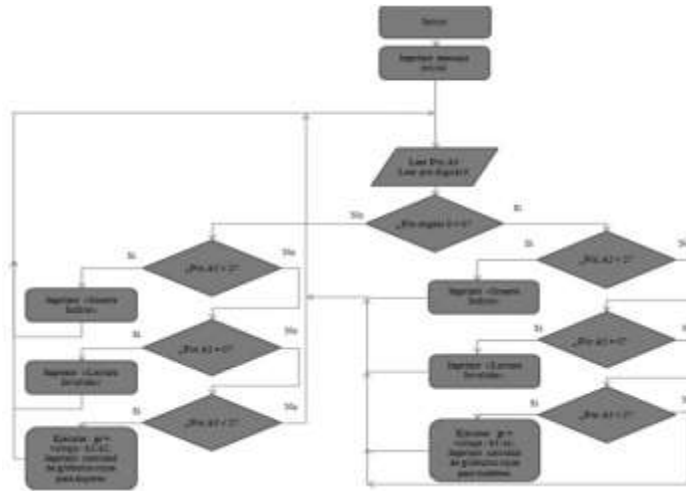


Figura 5. Diagrama de flujo del programa de medidor semicuantitativo de glóbulos rojos.

Evaluación de las ecuaciones obtenidas en el proceso de análisis con los datos del muestreo. Finalmente, se realizó una evaluación de las ecuaciones sustituyendo el valor de nivel de voltaje obtenido y el resultado, que representa una estimación de la cantidad de glóbulos rojos en millones de unidades por microlitro. Dicho valor se comparó con el valor obtenido en el laboratorio de análisis clínicos.

Se eligieron tres mujeres y tres hombres cuyos niveles de glóbulos rojos estuvieran dentro del rango que representara el porcentaje más alto de acuerdo con los gráficos de pastel presentadas en el proceso de análisis de datos.

De acuerdo con las fórmulas desarrolladas para la estimación de la cantidad de glóbulos rojos desarrolladas previamente, se tiene que para mujeres:

$$x = (y - 6.14) / (-1.604) \quad \text{Ec.9}$$

La fórmula desarrollada para la población masculina corresponde a:

$$x = (y - 0.85) / (-0.120) \quad \text{Ec. 10}$$

Donde, en ambas ecuaciones anteriores:

x = cantidad de glóbulos rojos

y = nivel de voltaje.

Resultados

A continuación, en el cuadro 1, se presenta una lista con las cantidades de glóbulos rojos por microlitro de sangre de seis pacientes seleccionados de la población total del muestreo. En esta tabla se presentan las cantidades obtenidas en el examen de biometría hemática y las cantidades obtenidas durante la evaluación de las ecuaciones desarrolladas para esta población.

Mujeres		Hombres	
Laboratorio	Máquina	Laboratorio	Máquina
$3.31 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$3.59 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$6.11 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$6.16 \times 10^6 / \mu\text{L}$
$3.67 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$3.50 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$5.33 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$4.66 \times 10^6 / \mu\text{L}$
$3.85 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$3.64 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$3.45 \times 10^6 / \mu\text{L}$	$3.5 \times 10^6 / \mu\text{L}$

Cuadro 1. Comparación entre resultados de laboratorio y medidor semicuantitativo.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, existen variaciones entre la cantidad de glóbulos rojos proporcionada por el laboratorio y la cantidad estimada por el medidor semicuantitativo. Sin embargo, esto es de esperarse ya que se trata de un dispositivo no invasivo que efectúa una medición de la cantidad de voltaje que produce el sensor óptico.

Al tratarse de un sensor óptico, las variaciones en intensidad lumínica debidas a factores físicos tales como grosor de uñas, esmalte de uñas, grosor del dedo y posición del dedo al momento de realizar la medición pueden alterar el resultado.

Con todo lo anteriormente mencionado, existe una tendencia general que muestra un comportamiento tal que, cuando el nivel de glóbulos rojos es elevado, es decir, la concentración de hematófils por microlitro de sangre es elevada, el nivel de voltaje provisto por el sensor foto sensible disminuirá. A menor concentración de glóbulos rojos, será mayor la cantidad de luz que podrá atravesar el dedo del paciente y, por consiguiente, aumentará el voltaje proporcionado por el sensor foto sensible.

Comentarios Finales

Dada la estructura del receptáculo que permite realizar la medición del paciente en cuanto a nivel de glóbulos rojos se refiere, aquellos pacientes cuyas dimensiones físicas de sus dedos sea diferente al tamaño fijo del receptáculo, propiciará variaciones en la lectura.

Cabe destacar que cada paciente presenta variaciones en el espesor de sus uñas, con lo cual, el nivel de luz que recibe el sensor foto sensible variará dependiendo de ello. En mujeres, otro factor importante a tomar en cuenta es la presencia de esmalte de color que interferirá en la lectura. Durante el proceso de muestreo, se tuvo el cuidado de descartar aquellas personas que presentarían uñas pintadas, ya que las lecturas no tendrían relación alguna con los resultados emitidos por el laboratorio.

Se debe agregar que, es posible mejorar el diseño del receptáculo que permite tomar la muestra al paciente. Dicha mejora tiene que ver con la estructura del receptáculo que alojará a los sensores ópticos. Se puede utilizar una pinza para oxímetro de pulso aprovechando los sensores ópticos que ya está utilizando. Únicamente hay que seleccionar los cables que alimentan al LED rojo y los cables del sensor foto sensible.

Referencias

Cegarra Sanmartin, V. (2012). Comparación de tres métodos de medición de hemoglobina en cirugía cardiaca. Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_203376/TR-CegarraSanmartin.pdf

Girish, M. (2018) [Make a permanent circuit board for your project to save space.] recuperado de: <https://maker.pro/arduino/tutorial/how-to-make-a-permanent-circuit-board-to-shrink-arduino-projects>

Mohit, T., Rawat, R., Sigh, S. & Thakur, R. (2015). Microcontroller ATMEGA328P. International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) Electronics & Communication Engineering, Dronacharya Group of Institutions, G. Noida, U.P, India. Recuperado de: <http://www.ijser.in/archives/v5i5/IJSER151437.pdf>

Nasir, Z. (2017). [Introduction to ATmega328] recuperado de: <https://www.theengineeringprojects.com/2017/08/introduction-to-atmega328.html>

Universidad de Granada (2018, 13 septiembre) ugr.es [Los Diodos LED] recuperado de <https://www.ugr.es/~juanki/LED.htm>

Walker, J. Eritrocitos (glóbulos rojos): características, funciones, anomalías, valores. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/eritrocitos>

Notas Biográficas

El **Profesor Selín Almeraya Zamudio**; egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas, Licenciado en la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Profesor en el área Física, Química y Biología a nivel secundaria; maestro en Ciencias de la Salud en educación media superior. Sus líneas de Investigación abarcan el área de Ciencias Naturales con la creación de proyectos diversos en divulgación científica y tecnológica para apoyar la educación en el nivel básico y medio superior.

El **C. Said Karim Almeraya Morales** egresado del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Mazatlán, pasante de la carrera de Ingeniería Electrónica participa activamente en proyectos relacionados a sistemas digitales y comunicaciones. Cuenta con proyectos de innovación tecnológica: diseño de medidor semicuantitativo de glóbulos rojos en sangre y construcción de un sistema multiprobador de sensores automotrices.

El **Dr. Jorge Refugio Reyna De La Rosa** es Ingeniero Industrial Eléctrico y tiene una Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Terminó sus estudios de Doctorado en Educación por el Abraham S. Fischler College of Education at Nova Southeastern University, Miami, Florida. Este autor es profesor de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Mazatlán. También, es catedrático de las asignaturas; mecánica clásica, máquinas eléctricas, electrónica de potencia, taller de investigación, formulación y evaluación de proyectos. Asimismo, participa activamente en proyectos relacionados a la electrónica de potencia, energía renovable e investigación educativa.

La **Dra. Alma Yadira Quiñonez Carrillo**, doctor en Ingeniería Informática en el programa oficial de doctorado en Inteligencia Artificial, en el Departamento de Inteligencia Artificial en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid en España, donde recibió mención Cum Laude. Actualmente es Profesor e Investigador de Tiempo Completo en la Facultad de Informática Mazatlán de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Es líder del Cuerpo Académico en Consolidación: "Tendencias e Innovaciones Tecnológicas en la Robótica y la Educación". Es responsable de proyectos de investigación financiados por la UAS mediante la convocatoria de PROFABI y por PROMEP a través de la convocatoria de incorporación de nuevos tiempos completos. El interés actual en la investigación se centra en el estudio de sistemas multi-robot principalmente en la coordinación de estos sistemas, robótica educativos y tecnología educativa.