

APOYO DIDÁCTICO DE LA TARJETA "RASPBERRY PI®" EN LA MATERIA DE SISTEMAS PROGRAMABLES

DIDACTIC SUPPORT OF THE CARD "RASPBERRY PI®" IN THE MATTER OF PROGRAMMABLE SYSTEMS

Carlos Federico Hernández Farfán

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
cahernandez@itesi.edu.mx

Alma Lilia Márquez Beltrán

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
beltranmarquezba@hotmail.com

Daniel Esteban Ávila Macías

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
esteban_2311@hotmail.com

Resumen

Dentro de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, se imparte la materia de Sistemas Programables. Dicha materia aporta, entre otras cosas, al perfil de egreso del estudiante, la habilidad de integrar tecnología para la solución de problemas y la habilidad de implementar interfaces hombre-máquina para la automatización. El temario del curso está enfocado al uso de un microcontrolador para la implementación de las interfaces; sin embargo, en este trabajo se plantea la opción de utilizar otro tipo de tecnología más reciente y para uso en la enseñanza de ciencias de la computación, tal como es el caso de la tarjeta "Raspberry Pi®". Se muestra que utilizando ésta tarjeta como apoyo didáctico es posible cubrir los temas del curso, contribuir al desarrollo de las habilidades para el perfil de egreso del estudiante, así como al desarrollo de la competencia específica de la asignatura. También es posible reforzar el enfoque de la materia a temas más afines a la carrera tales como programación, redes de computadoras, sistemas operativos y bases de datos. Finalmente se muestra la percepción de los estudiantes del grado de aceptación del uso de dicha tarjeta.

Palabra(s) Clave: Interfaces, Raspberry Pi, Sistemas Programables

Abstract

Within the bachelor's degree of Computer Systems Engineering, the subject of Programmable Systems is taught. This subject provides, among other things, to the student's graduation profile, the ability to solve problems and implement man-machine interfaces for automation. The syllabus of the course is focused on the use of a microcontroller for the interfaces' implementation; however, it has been proposed in this work the option to use another type of newer technology and for use in the teaching of computer science, such as the case of the "Raspberry Pi®" board. It is demonstrated that this board can be used as a teaching aid and it is possible to cover the course topics, contribute to the development of the necessary skills for the student's graduation profile as well as for the development of the specific competence of the subject. It is also possible to reinforce the approach of the subject to topics related to the degree, such as programming, computer networks, operative systems and data bases. Finally, the student's perception and acceptance degree using the board is shown.

Keywords: *Interfaces, Raspberry Pi, Programmable Systems*

1. Introducción

En el programa de estudios de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, se imparte la materia de Sistemas Programables, la cual aporta al perfil de egreso de los estudiantes, la capacidad de integrar tecnología para construcción de interfaces para la automatización mediante el uso de microcontroladores ITESI [2017]. De acuerdo al enfoque por competencias, una vez indicada la competencia a alcanzar, se establece el temario que apoye el desarrollo de dicha competencia. El temario de la materia incluye el estudio de sensores, actuadores, microcontroladores, programación de microcontroladores, puertos del microcontrolador y elaboración de interfaces. Sin embargo, se puede observar que actualmente existen tarjetas electrónicas que se pueden emplear como apoyo didáctico para el desarrollo de las competencias del curso. Existen tarjetas didácticas de bajo costo y altas prestaciones como "Arduino®" y "Raspberry Pi®", las cuales permiten una mayor versatilidad para la integración de tecnologías y el

desarrollo de proyectos que lo que un microcontrolador independiente permite. De acuerdo a una comparación entre las tarjetas "Arduino®" y "Raspberry Pi®", en este trabajo se propone el uso de la tarjeta "Raspberry Pi®" como apoyo didáctico para la materia de Sistemas Programables, ya que, aunque su precio es mayor ofrece mayores opciones para la integración de tecnología para la construcción de interfaces principalmente por la versatilidad de su manejo a través del sistema operativo y por medio de programación en lenguaje de alto nivel. De igual manera se permite reforzar el enfoque de la materia a temas más afines a la carrera tales como programación, redes de computadoras, sistemas operativos, bases de datos, tal como se muestra en las siguientes secciones.

Dentro de la revisión bibliográfica, en la tesis de Guevara [2015], se propone el uso de la tarjeta "Arduino®" y tarjetas de desarrollo basados en dispositivos programables FPGA (Field Programmable Gate Array) y lenguaje de descripción de circuitos VHDL como apoyo didáctico para la materia de Sistemas Programables, sin embargo, la tarjeta "Raspberry Pi®" ofrece mayor versatilidad que la tarjeta "Arduino®" y tiene un precio más accesible que una tarjeta basada en FPGA.

Se encuentran libros como el de Tojerio [2016], en el que se muestran las características básicas y el uso de la tarjeta "Raspberry Pi®", diversos ejemplos del manejo de sensores, motores, interfaces, así como una introducción hacia temas como Internet de las cosas, el cual puede servir de apoyo para el desarrollo de este proyecto.

Tanto en el artículo de Salcedo y cols. [2016] y en la tesis de Arpi y cols. [2015], se menciona la viabilidad del uso de la tarjeta "Raspberry Pi®" para el monitoreo de sensores y para su uso en un sistema de control en un entorno Web, e incluso en el artículo de Tivnan y cols. [2015] se menciona el uso de la tarjeta en aplicaciones de monitoreo de señales de alto desempeño.

En otros artículos como el Perales y cols. [2012] y el de Rosado y cols. [2008] se hace evidente el uso de componentes electrónicos en prácticas de laboratorio como apoyo didáctico en una determinada materia.

Existen productos comerciales para el monitoreo y control de procesos como "Labview" de National Instruments® [National Instruments Corporation, 2018];

sensores, equipo de monitoreo, control y comunicaciones para procesos de industriales de "IFM Efactor[®]" (IFM efector Inc., 2018) y estaciones de laboratorio de entrenamiento y aprendizaje como "Labvolt" de Festo Didactic[®] [Festo Didactic Inc., 2015], que pueden ser usados como apoyo didáctico para el curso, sin embargo para adquirir este tipo de productos se requiere de una mayor inversión. De acuerdo a esta revisión, se emplea la tarjeta "Raspberry Pi[®]" para el desarrollo de este trabajo y como apoyo el libro de Tojeiro [2016]. De esta manera se plantea que la tarjeta puede ser usada como apoyo didáctico para la materia, que con su uso es posible cubrir los temas del curso y contribuir al desarrollo de las habilidades para el perfil de egreso del estudiante, y que puede contribuir al desarrollo de la competencia específica de la asignatura.

2. Métodos

En esta sección se muestra cómo se empleó la tarjeta "Raspberry Pi[®]" como apoyo didáctico para la materia de Sistemas Programables y la percepción del grado de aceptación de los estudiantes del uso de esta herramienta.

Como parte de la metodología para el desarrollo de este trabajo, se hizo una revisión de las competencias y perfil que aporta al estudiante la materia de Sistemas Programables y se realizó la revisión del temario de la materia.

Se realizó una encuesta para conocer el interés de los estudiantes del grupo piloto sobre el uso de la tarjeta "Raspberry Pi[®]" en el curso. Se observó que el 96% tenía interés en conocer y aplicar tarjetas electrónicas de tecnología más reciente para la realización de sus prácticas.

Se realizó una revisión bibliográfica del uso de la tarjeta "Raspberry Pi[®]" con fines didácticos y se consideró por su versatilidad y prestaciones, conveniente como una tecnología más reciente que la propuesta en el temario para cubrir la competencia y temas del curso.

En el desarrollo de este proyecto primero se probaron un conjunto de prácticas como apoyo para el aprendizaje de los conceptos de los temas del curso, posteriormente se realizaron las prácticas con un grupo piloto de 39 estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato de la carrera de Ingeniería en Sistemas

Computacionales en la materia de Sistemas Programables del periodo agosto diciembre del 2017 y finalmente se realizó una encuesta para conocer la percepción de los estudiantes del uso de la tarjeta "Raspberry Pi®" como apoyo didáctico.

Dentro del conjunto de prácticas propuestas se incluyen prácticas basadas en Tojeiro [2016] para el manejo básico de la tarjeta mediante el sistema operativo Raspbian, conceptos de programación en lenguaje Python, uso de sensores y actuadores, y la realización de interfaces hombre-máquina, máquina-hombre y máquina-máquina.

En la figura 1, se muestra un diagrama a bloques de la interconexión de los componentes para el desarrollo de este proyecto. Se emplea la tarjeta "Raspberry Pi®" para el monitoreo de las señales de los sensores y para el control de los actuadores. Los periféricos de la tarjeta se conectan a través de los puertos HDMI y USB. Para la realización de las prácticas finales se estableció en la tarjeta un servidor Web y se empleó el lenguaje de programación PHP, también se estableció una base de datos mediante MySQL. A través del puerto Ethernet se establece la conexión en red para el manejo de las interfaces de la tarjeta con el usuario en un entorno Web.

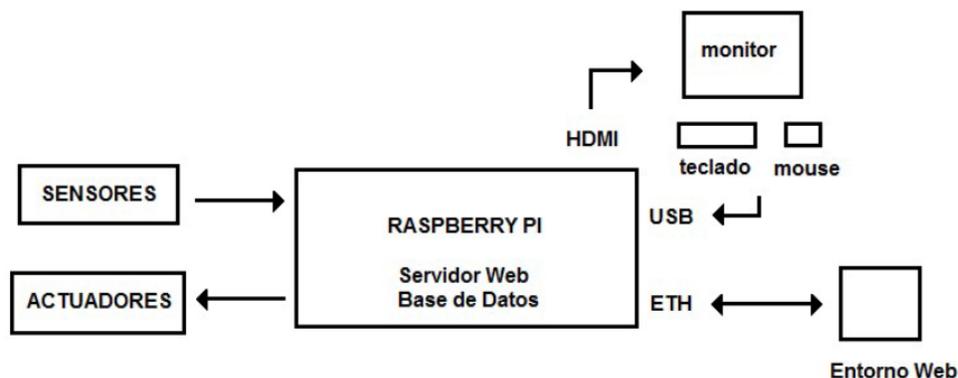


Figura 1 Diagrama a bloques para uso de la tarjeta Raspberry Pi.

Se realizó la propuesta de prácticas para el curso que incluye, por ejemplo, el monitoreo de tres sensores mediante la tarjeta "Raspberry Pi®" y el lenguaje de programación Python. Se emplearon los sensores ultrasónicos HC-SR04 para la medición de distancia, el sensor digital de temperatura y humedad DHT11 y el

sensor óptico CNY70 para la detección del color de una superficie. En la figura 2 se muestra la conexión del sensor ultrasónico a la tarjeta y la interfaz con las mediciones del sensor.

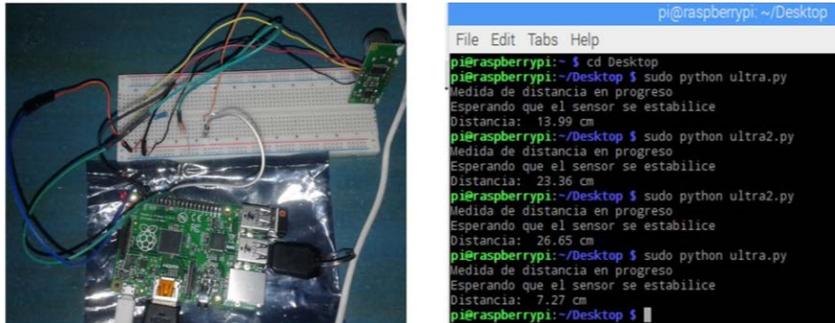


Figura 2 Conexión de la tarjeta Raspberry Pi con el sensor ultrasónico HC-SR04.

Las siguientes prácticas propuestas para el curso incluyen el control de actuadores, tales como el control de un servomotor SG90, el control de un motor de corriente continua y el control de un motor a pasos. En figura 3, se muestra el control de un motor de corriente continua para que gire en sentido horario, posteriormente en sentido antihorario y finalmente detenerse.

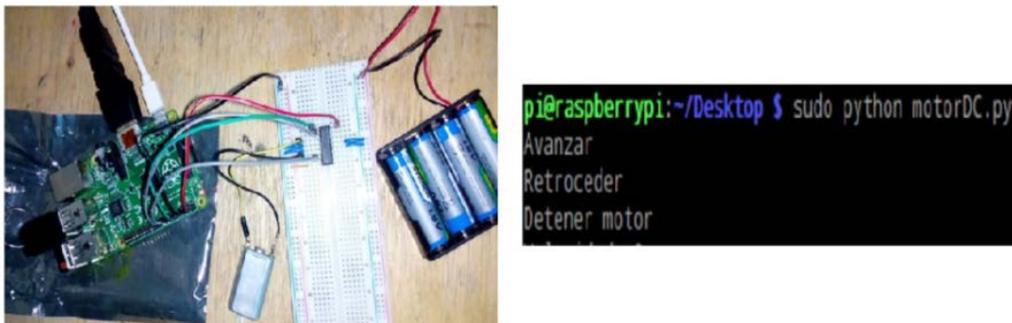


Figura 3 Control de un motor de corriente continua.

A continuación, se realizaron las prácticas relacionadas con la elaboración interfaces de usuario con la tarjeta "Raspberry Pi®". Se realizaron prácticas para la elaboración de interfaces gráficas para el monitoreo de las señales de los sensores ultrasónico, sensor de temperatura y humedad, y sensor óptico, mediante el lenguaje de programación Python y el uso de la biblioteca Tkinter. En este trabajo a

este tipo de interfaces se le denomina interface máquina-hombre. En la figura 4, se muestra una interfaz gráfica con la medición de los tres sensores simultáneamente.

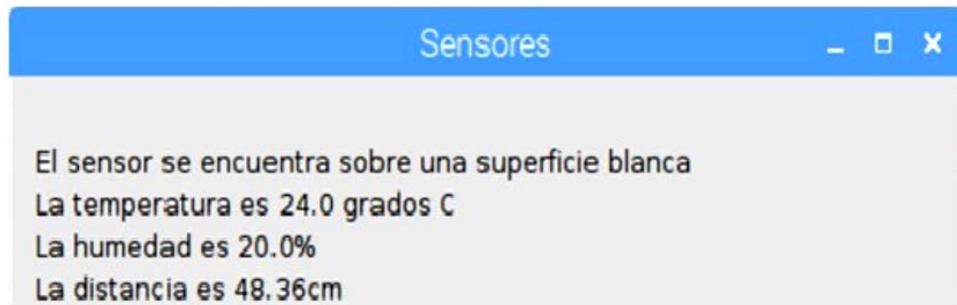


Figura 4 Interfaz máquina-hombre para tres sensores.

La siguiente práctica para el curso se denomina interface hombre-máquina, mediante la cual, a través de la interfaz, el usuario interactúa para obtener la señal de un sensor o controlar un actuador. En la figura 5, se muestra la interfaz para que el usuario indique que se obtenga la señal del sensor de temperatura y humedad, y otra interfaz en la que el usuario establece el giro de un motor a pasos en grados, en pasos, o en revoluciones, así como la dirección del giro.

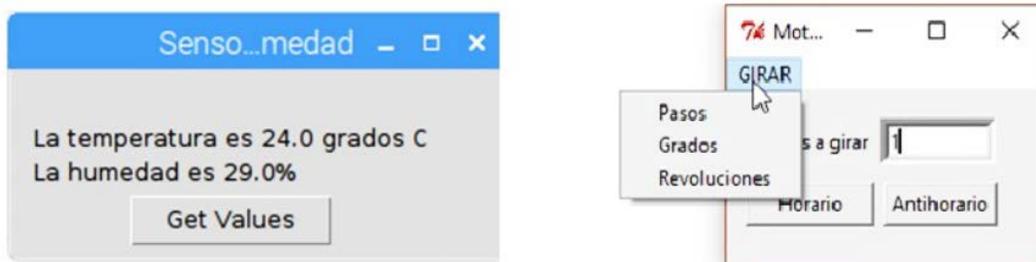


Figura 5 Interfaz hombre máquina del sensor de temperatura y motor a pasos.

Las siguientes prácticas propuestas para el curso se denominan interfaces máquina-máquina, en la que se establece una comunicación e interacción entre dispositivos, en este caso, entre la tarjeta "Raspberry Pi®" y una computadora o dispositivo móvil a través del puerto Ethernet. En estas prácticas se propone establecer un entorno Web para el monitoreo de las señales de los sensores y el control de los actuadores. Se implementan los protocolos de comunicación SSH y

TCP/IP y una base de datos para almacenar los datos del sensor DHT11. Como ejemplo, en la figura 6 se muestra la interfaz en un entorno Web para el monitoreo de la temperatura y almacenamiento en una base de datos.

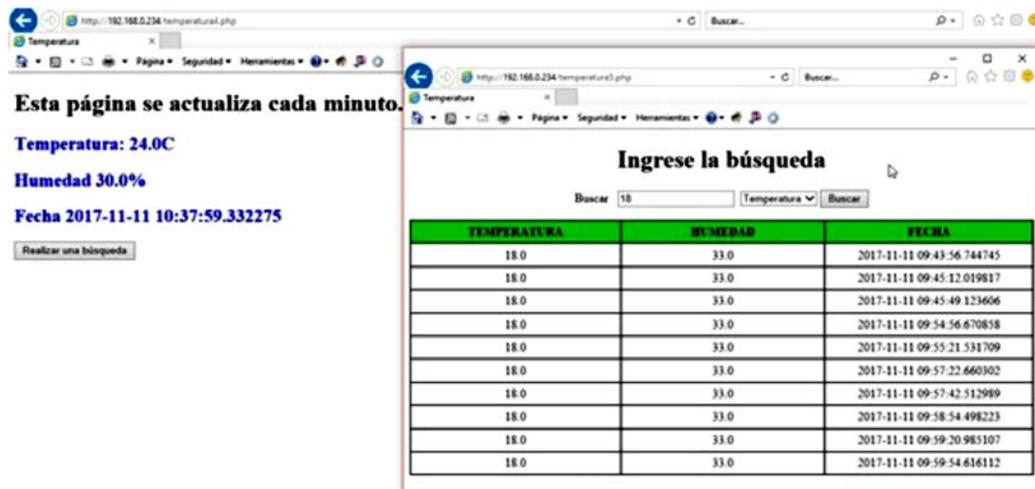


Figura 6 Interface máquina-máquina monitoreo de temperatura en un entorno Web.

En la figura 7 se muestra una computadora portátil como cliente del servicio Web y consulta de la base de datos.

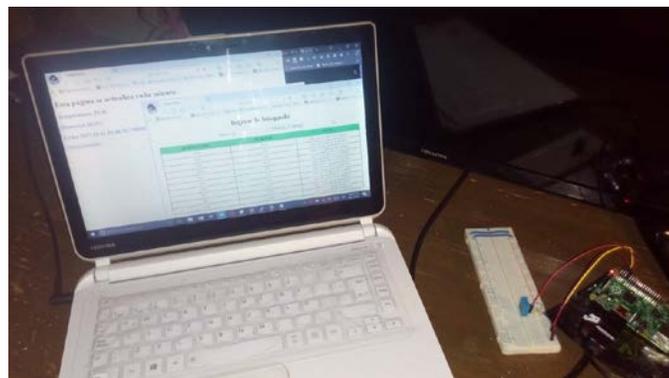


Figura 7 Cliente del servicio Web y consulta de base de datos.

A continuación, se muestran los protocolos involucrados en la comunicación e interacción entre los dispositivos obtenidos a partir del analizador de protocolos Wireshark. En la figura 8 se muestra el saludo de tres vías del protocolo TCP para la conexión del puerto 51196 del cliente con el puerto 22 de SSH.

1332	93.836054	192.168.0.2	192.168.0.234	TCP	66 51196 → 22 [SYN] Seq=0 Win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM=1
1333	93.837386	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	66 22 → 51196 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=29200 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
1334	93.862758	192.168.0.2	192.168.0.234	SSHv2	82 Client: Protocol (SSH-2.0-PuTTY_Release_0.70)
1335	93.864064	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	60 22 → 51196 [ACK] Seq=1 Ack=29 Win=29248 Len=0
1336	93.994642	192.168.0.234	192.168.0.2	SSHv2	95 Server: Protocol (SSH-2.0-OpenSSH_7.4p1 Raspbian-10+deb9u1)
1337	93.998609	192.168.0.2	192.168.0.234	SSHv2	1158 Client: Key Exchange Init

Figura 8 Conexión del cliente al servidor mediante SSH.

En la figura 9 se muestra la conexión TCP del cliente con el puerto 80 para la solicitud del servicio Web que proporciona el acceso a la interface para el monitoreo y consulta de la base de datos del sensor de temperatura.

552	25.227831	192.168.0.234	224.0.0.22	IGMPv3	60 Membership Report / Join group 224.0.0.251 for any sources
687	38.124720	192.168.0.2	192.168.0.234	TCP	66 51176 → 80 [SYN] Seq=0 Win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM=1
688	38.125943	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	66 80 → 51176 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=29200 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 WS=64
689	38.129962	192.168.0.2	192.168.0.234	HTTP	441 GET /temperatura4.php HTTP/1.1
690	38.131309	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	60 80 → 51176 [ACK] Seq=1 Ack=388 Win=30272 Len=0
719	48.133240	192.168.0.2	192.168.0.234	TCP	55 [TCP Keep-Alive] 51176 → 80 [ACK] Seq=387 Ack=1 Win=65536 Len=1
720	48.134526	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	66 [TCP Keep-Alive ACK] 80 → 51176 [ACK] Seq=3 Ack=388 Win=30272 Len=0 SLE=387 SRE=388
728	52.355743	192.168.0.234	192.168.0.2	HTTP	749 HTTP/1.1 200 OK (text/html)
730	52.407405	192.168.0.2	192.168.0.234	TCP	54 51176 → 80 [ACK] Seq=388 Ack=696 Win=64768 Len=0
737	53.901068	192.168.0.234	192.168.0.2	HTTP	406 GET /favicon.ico HTTP/1.1
738	53.902446	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	60 80 → 51176 [ACK] Seq=696 Ack=740 Win=31360 Len=0
739	53.904385	192.168.0.234	192.168.0.2	HTTP	562 HTTP/1.1 404 Not Found (text/html)
740	53.955443	192.168.0.2	192.168.0.234	TCP	54 51176 → 80 [ACK] Seq=740 Ack=1204 Win=64256 Len=0
858	58.910082	192.168.0.234	192.168.0.2	TCP	60 80 → 51176 [FIN, ACK] Seq=1204 Ack=740 Win=31360 Len=0
859	58.911650	192.168.0.2	192.168.0.234	TCP	54 51176 → 80 [ACK] Seq=740 Ack=1205 Win=64256 Len=0

Figura 9 Conexión del cliente al servidor Web.

3. Resultados

En el temario de la materia de Sistemas Programables se puede observar que se enfoca al uso de un microcontrolador para el desarrollo de las competencias y aportación al perfil de egreso del estudiante. Sin embargo, en el desarrollo de este trabajo se utilizó la tarjeta "Raspberry Pi®" como apoyo didáctico para la materia, debido a la versatilidad que aporta su manejo a través de un sistema operativo y programación en lenguaje de alto nivel; así como la integración de circuitería y compatibilidad con otros componentes electrónicos. Ya que el temario de la materia incluye el estudio de sensores, en este trabajo se realizó, como ejemplo, el monitoreo de tres sensores, el sensor ultrasónico HC-SR04, el sensor de temperatura y humedad DHT11, y el sensor óptico CNY70. El siguiente tema de la materia son actuadores, por lo que en este trabajo se realizó como ejemplo, el control de un motor de corriente continua, un servomotor y un motor a pasos. El temario de la materia también incluye conceptos de programación de un microcontrolador, sin embargo, en este trabajo se incluye la programación de la tarjeta mediante el lenguaje de programación Python y PHP.

Otros conceptos como puertos y comunicación entre dispositivos, también son cubiertos mediante el uso de los diferentes puertos de la tarjeta, tales como los puertos GPIO para la conexión de los sensores y actuadores, puertos HDMI y USB para los periféricos de la tarjeta, y puerto Ethernet para el uso y manejo de las interfaces a través de un entorno Web. Los conceptos de comunicación entre dispositivos son empleados en la implementación de la comunicación mediante los protocolos SSH y TCP/IP entre dispositivos.

El último tema del curso se denomina interfaces, así que en este trabajo se realizaron interfaces máquina-hombre para el monitoreo de las señales de los sensores, también se realizaron interfaces hombre-máquina para el control de los actuadores y finalmente interfaces máquina-máquina en las que se estableció la comunicación e interacción entre dispositivos o equipo en un entorno Web y consultas de base de datos.

En cuanto a la percepción del grupo de estudiantes referente al uso de la tarjeta, al 94% le pareció fácil de utilizar, el 88% considera que se pueden cubrir los temas del curso, todos consideran que es interesante su uso, que el uso de la tarjeta contribuye al aprendizaje de los conceptos de la materia y el 97% recomendaría su uso a otros estudiantes. Se han utilizado simultáneamente en un grupo piloto, tanto el microcontrolador PIC 16F84 como la tarjeta "Raspberry Pi®", sin embargo, para conocer el impacto con mayor precisión del uso de dicha tecnología se requeriría aplicar esta metodología a un mayor número de grupos de estudiantes.

En la figura 10 se muestran algunos resultados de la encuesta realizada a los estudiantes para conocer la percepción del grado de aceptación de uso de la tarjeta "Raspberry Pi®" como apoyo didáctico en la materia de Sistemas Programables.

4. Discusión

En este trabajo se puede verificar que la tarjeta "Raspberry Pi®" puede ser usada como apoyo didáctico en la materia de Sistemas Programables, ya que es posible cubrir los temas del curso, contribuir al desarrollo de las habilidades para el perfil de egreso del estudiante, así como al desarrollo de la competencia específica de la asignatura.

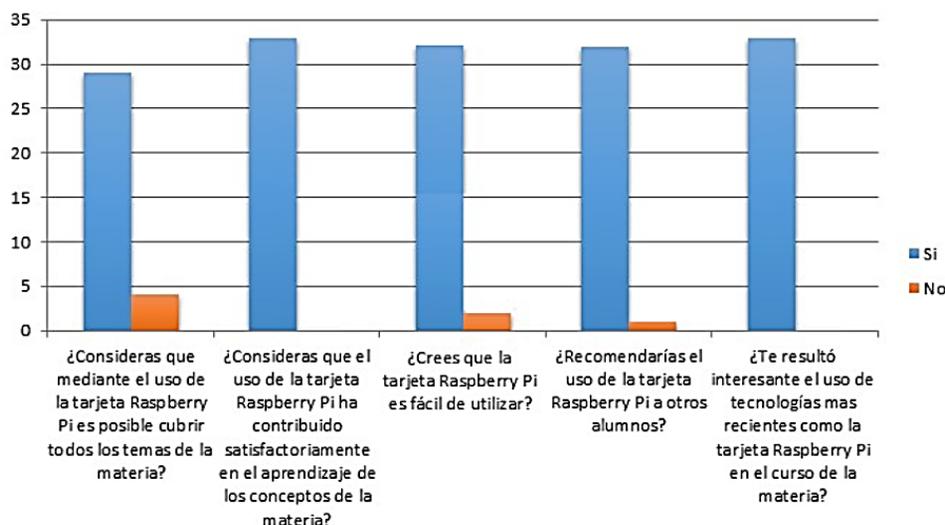


Figura 10 Resultados de la encuesta a estudiantes.

La tarjeta "Raspberry Pi®" permite una mayor versatilidad en la integración de tecnología para el desarrollo de un proyecto en comparación con un microcontrolador independiente. Por ejemplo, sería muy complicado implementar con un microcontrolador, en un curso normal de duración de un semestre, un servidor Web o una base de datos, o que el microcontrolador reconozca los protocolos TCP/IP. El uso de la tarjeta "Raspberry Pi®" también permite reforzar el enfoque de la materia a temas más afines a la carrera de ingeniería en sistemas computacionales tales como programación, redes de computadoras, sistemas operativos y bases de datos. También puede servir como base para el desarrollo de otros proyectos relacionados con Internet de las cosas o Industria 4.0. A pesar de que el grado de aceptación de los estudiantes por uso de la tarjeta y las prestaciones que ofrece, cabe mencionar que su costo, aunque es accesible, puede llegar a ser significativo.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Festo Didactic Inc.® (2015). Labvolt: <https://www.labvolt.com/solutions> Arpi, P.E., Urgilés, M. V. (2015).

- [2] Diseño y desarrollo de actuadores de iluminación para una RED ZigBee con un servidor web montado en Raspberry Pi. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
- [3] IFM efector Inc.® (2018). Ifm: <https://www.ifm.com/mx/es>.
- [4] Guevara, E., (2015). Monitoreo de señales mediante la tarjeta Arduino y uso de VHDL para la materia de Sistemas Programables. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. México.
- [5] TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Irapuato [ITESI]. (2018): <https://goo.gl/JPJsp1>.
- [6] National Instruments Corporation® (2018). ¿Qué es Labview?: <http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>.
- [7] Perales, M. A., Barrero, F. J., Toral, S. L., Durán, M. J. (2012). Experiencia PBL en una asignatura básica de electrónica. IEEE-RITA, 7 (4), 223-230, doi: pendiente
- [8] Rosado, A., Bataller, M., Guerrero, J. F. (2008). Aprendizaje por proyectos: Una aproximación docente al diseño digital. IEEE-RITA, 3 (2), 87-95, doi: pendiente
- [9] Salcedo, M., Cendros, J. (2016). Uso del minicomputador de bajo costo "Raspberry Pi" en estaciones meteorológicas. Télématique, vol. 15, núm. 1, pp. 62-84. ISSN: 1856-4194.
- [10] Tivnan, M., Gurjar, R., Wolf, D. E., Vishwanath, K. (2015). High Frequency Sampling of TTL Pulses on a Raspberry Pi for Diffuse Correlation Spectroscopy Applications. Sensors (Basel), doi: 10.3390/s150819709.
- [11] Tojeiro, G. (2016). Raspberry Pi2 para electrónicos. México: Alfaomega.