



Diseño y Fabricación de un Prototipo para el Control de Acceso Vehicular Basado en Tecnología RFID

González-Ramírez, O.F.¹; Lara-Cardoso, J.¹✉; Hernández-Flores, C.²; Arjona-López, M. A.²; González-Vargas, L.A.¹

Datos de Adscripción:

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Posgrado Av. Tecnológico No. 1555 Sur, Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150, Lerdo, Durango, México.

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

✉ jorge_lara_c@yahoo.com

Resumen - Este trabajo presenta el diseño y fabricación de un prototipo para controlar la entrada y salida de vehículos en un estacionamiento utilizando tecnología de identificación por radiofrecuencia RFID. Para esto, una tarjeta Arduino Mega 2560 decodifica el ID del tag o etiqueta asignada a cada vehículo, la cual es leída por el módulo RFID RC522. A su vez, esta información se envía mediante el protocolo de comunicación Zigbee a través del módulo Digi Xbee Pro S2C de manera inalámbrica a una tarjeta Raspberry Pi 3 donde se tiene almacenada la base de datos de los IDs con acceso permitido. Un reloj de tiempo real RTC DS3231 se ha integrado para calcular tanto la duración del vehículo en el estacionamiento como la tarifa a cobrar por el servicio. La barrera vehicular propuesta se basa en una pluma telescópica conformada por secciones de perfiles tubulares rectangulares PTR de diferentes diámetros e insertados unos dentro de otros. Su función retráctil es gracias a un conjunto de piñones con un eje común y radios incrementales y también a secciones de cadena soldadas a los perfiles. Un servomotor SureServo SVL-207B trifásico de 750W controlado con el drive SVA-2100 ejerce un torque angular traducido en el desplazamiento lineal retráctil de la pluma. El mecanismo propuesto se ha diseñado y simulado con la herramienta CAD/CAM/CAE de Siemens NX®. Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales demuestran el correcto funcionamiento del sistema, logrando así una solución segura, confiable, eficiente y versátil para la gestión de acceso vehicular.

Palabras Clave - Acceso Vehicular, Pluma Retráctil, Protocolo Zigbee, Raspberry Pi, Tarjeta Arduino, Tecnología RFID.

Abstract - This work presents the design and fabrication of a prototype to control the entry and exit of vehicles in a parking lot using RFID radio frequency identification technology. For this, an Arduino Mega 2560 board decodes the tag ID assigned to each vehicle, which is read by the RFID RC522 module. In turn, this information is sent by means of the Zigbee communication protocol through the Digi Xbee Pro S2C module in a wireless way to a Raspberry Pi 3 board where the database of IDs with granted access is stored. An RTC DS3231 real-time clock has been integrated to calculate both the duration of the vehicle in the parking lot and the fee

to be charged for the service. The proposed vehicular barrier is based on a telescopic boom made up of sections of PTR rectangular tubular profiles of different diameters and inserted ones inside another. Its retractable function is thanks to a set of sprockets with a common axis and incremental radii and also to chain sections welded to the profiles. A 750W three-phase SureServo SVL-207B servomotor controlled with the SVA-2100 drive exerts an angular torque translated into the retractable linear displacement of the boom. The proposed mechanism has been designed and simulated with the Siemens NX® CAD/CAM/CAE tool. The obtained results from the experimental tests demonstrate the correct functioning of the system, thus achieving a safe, reliable, efficient and versatile solution for the vehicular access management.

Keywords - Arduino Board, Raspberry Pi, Retractable Boom, RFID Technology, Vehicle Access, Zigbee Protocol.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha ido haciendo cada vez más fuerte la tendencia de utilizar los procesos de automatización de una forma progresiva en todos los ámbitos donde ésta se involucra. Estas acciones han sido y seguirán siendo útiles, gracias al avance de este tipo de tecnologías.

La automatización en el área de procesos tiene como principales objetivos mejorar la calidad en algún proceso, mejorar la productividad, reducir tiempos y hacer que el proceso sea más flexible (Sanchis et al., 2010). Se puede definir un sistema automatizado como un sistema que tiene la facultad de accionar de forma autónoma, esto mediante la toma de decisiones que puede realizar gracias a los cambios producidos en el sistema, para así cumplir la necesidad de forma satisfactoria para la cual fueron diseñados.

El procedimiento de reconocimiento de vehículos con la asistencia de tecnología se denomina identificación automática. La tecnología de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) es una de las variantes de estos sistemas de identificación y presenta características muy específicas de funcionamiento. Estas particularidades han llevado a considerar la posibilidad de utilizar la tecnología RFID como una alternativa al sistema de identificación actualmente en uso en establecimientos e instituciones que utilizan métodos antiguos para el registro de entradas y salidas de vehículos.

En la actualidad, tanto instituciones públicas como privadas de renombre a nivel mundial han implementado internamente medidas de control para regular el acceso de usuarios a sus diversos espacios. Esta estrategia busca mejorar la gestión y crear un entorno más seguro y eficiente. Actualmente, las organizaciones están incorporando diversas herramientas cada

vez más avanzadas en tecnología, las cuales automatizan procedimientos, reduciendo así los costos operativos y permitiendo un control más preciso. Los sistemas de control de acceso ofrecen una serie de ventajas, como son la gestión eficiente del acceso y la obtención de un registro detallado de las personas que ingresan a áreas específicas.

De acuerdo con Castillo y Angel (2019), la creación y prueba de prototipos permite una rápida iteración y validación de ideas, lo que reduce el riesgo y el costo de desarrollo, al identificar y solucionar problemas en su etapa temprana. Además, destacan que la innovación constante y la adaptación a nuevas tecnologías son esenciales para mantenerse competitivo en un mercado en evolución. El implementar prototipos avanzados no solo optimiza los procesos actuales, sino que también abre puertas a nuevas oportunidades y aplicaciones, mejorando la flexibilidad y la capacidad de respuesta de los sistemas automatizados.

Después de haber realizado una investigación detallada en artículos académicos y patentes, e.g. (Brinkman, 2024), (Izardel, 2007), (Lumsden et al., 2014), (Rihl, 2009), se evaluaron las ventajas y desventajas del prototipo propuesto basado en una pluma retráctil. Cabe mencionar que este diseño y su mecanismo de accionamiento es totalmente diferente a los presentados en los trabajos previos basados en estructuras de brazo rígido, por lo cual resulta ser muy atractivo.

Ventajas del diseño de pluma retráctil:

- Ofrece una solución novedosa y eficiente para el control de acceso vehicular, proporcionando un aspecto más moderno y tecnológico que el de las plumas tradicionales (Stoller, 1990)
- Ocupa menos espacio cuando no está en uso, lo que es un beneficio en lugares con dimensiones limitadas y también mejora la estética del área donde se instala.
- Los componentes utilizados en su fabricación son económicos y fáciles de conseguir, reduciendo así los costos de producción y de reparación.
- Es más robusta y menos propensa a daños físicos en situaciones de uso intensivo y/o vandalismo.

Desventajas del diseño de pluma retráctil:

- Es más susceptible al desgaste, por lo que requiere un mantenimiento más frecuente que las plumas tradicionales.
- Al ser construida en metal experimenta corrosión debida a la humedad del ambiente y a las lluvias.

La contribución principal de este artículo es validar la propuesta de un sistema automatizado para el control de acceso vehicular utilizando tecnología RFID. El diseño de la estructura y su funcionamiento es diferente al de los modelos ya existentes, ya que se basa en un ingenioso mecanismo que permite ocultar la pluma al ser capaz de retraer en su totalidad todos sus elementos móviles.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Al día de hoy, existen varios sistemas capaces de realizar la función de monitorear la entrada y salida de vehículos en estacionamientos. Sin embargo, tales sistemas tienen la desventaja de que son costosos y necesitan de cuidados muy

específicos para realizar su funcionamiento, así como también de personas especializadas para realizar ajustes.

Al plantear este trabajo, desde un inicio se buscó como objetivo principal lograr un sistema que utilizará componentes económicos, fáciles de adquirir y sencillos de manejar. Para poder llevar a cabo esta tarea, primero se realizó un estudio referente a los sistemas de monitoreo que ya han sido previamente desarrollados, y posteriormente se analizaron varias propuestas para identificar sus principios de funcionamiento.

La Figura 1, muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto basado en tecnología RFID, el cual es el resultado obtenido después del análisis mencionado anteriormente.

En primera instancia el funcionamiento del sistema mostrado en la Figura 1 comienza una vez que el usuario muestra al lector RFID la etiqueta con el chip de identificación proporcionado (tarjeta, llavero, etc.), lo que genera una excitación en la tarjeta de identificación para que posteriormente el identificador reciba un código ligado a la etiqueta a través de ondas de radiofrecuencia. El microcontrolador Arduino se encarga de registrar este código y también de capturar la hora de registro gracias al módulo RTC DS3231. Una vez que el dato es recibido, a continuación, es procesado por una tarjeta de adquisición de datos y de ahí enviado a través de sus puertos de comunicación mediante un componente que responde al protocolo de comunicación Zigbee hacia otro dispositivo que se encuentra en un lugar remoto. Este receptor tiene almacenada una base de datos con los códigos RFID válidos para posteriormente analizar el código de acceso recibido, y si éste cuenta con los permisos necesarios comunicárselo a la tarjeta de adquisición de datos para que acepte o niegue el acceso. Si la respuesta del sistema es afirmativa entonces presenta al usuario con ese identificador una aceptación. En ese momento el microcontrolador envía una señal para permitir el paso de voltaje de la fuente de voltaje hacia los indicadores del sistema y las entradas digitales del controlador del motor para finalmente retraer la pluma y permitir el acceso al vehículo.

2.1 Módulo de Adquisición de Datos

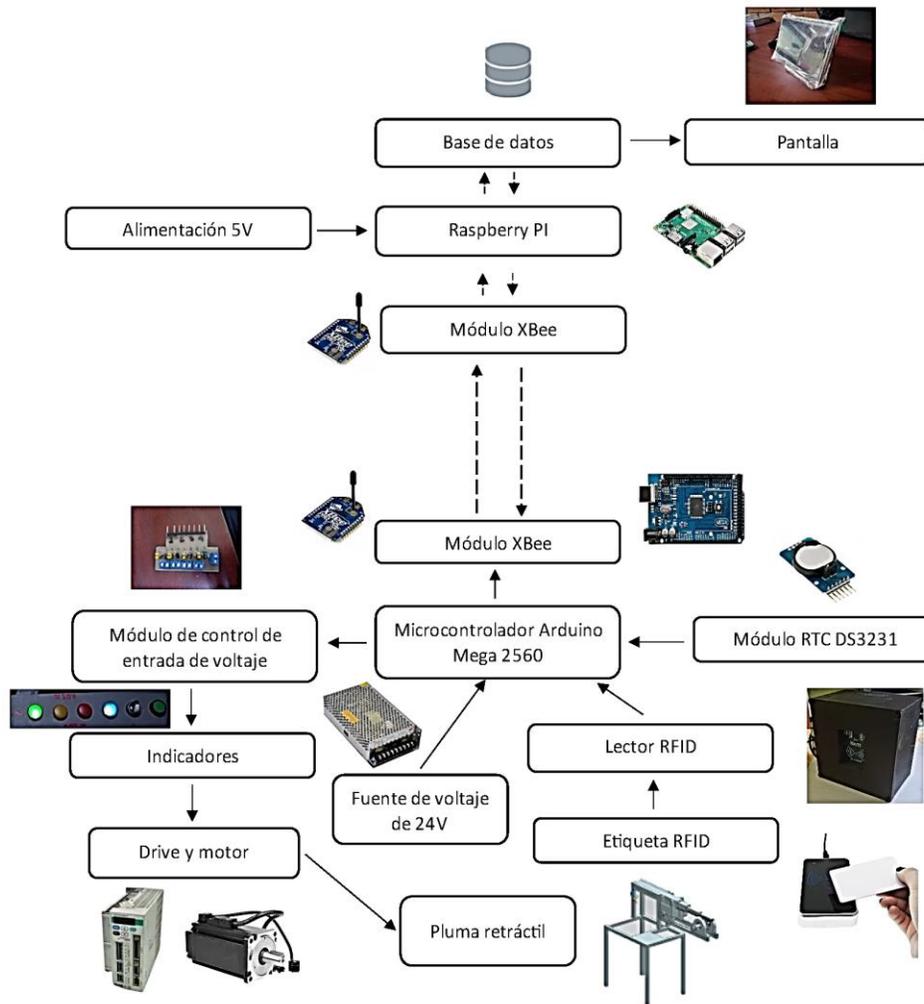
De acuerdo con Blanco et al., un módulo de adquisición de datos o DAQ (Data Acquisition) es un dispositivo diseñado con la finalidad de recopilar información proveniente de sensores y de señales analógicas o digitales en diversos entornos. Su función principal radica en la conversión de estas señales en datos digitales, los cuales pueden ser posteriormente procesados y analizados por sistemas informáticos.

De igual manera, Blanco et al., establecen que este tipo de dispositivos desempeña un papel esencial en aplicaciones que demandan monitoreo y adquisición de datos en tiempo real, como es el caso de sistemas de control industrial, laboratorios de investigación, pruebas de calidad, instrumentación científica, así como en el ámbito general de la automatización. Estos módulos de adquisición de datos actúan como una interfaz crucial entre el mundo analógico, donde se originan las señales físicas, y el mundo digital, donde los datos pueden ser almacenados y procesados con mayor facilidad.

Para la selección del módulo de adquisición de datos a utilizar, se tomaron en consideración algunas plataformas de código libre. Finalmente, se eligió la opción de Arduino® gracias a su flexibilidad y facilidad de uso, a su fácil adquisición y a su bajo

Figura 1

Arquitectura del sistema de propuesto basado en tecnología RFID.



costo, así como también a la gran cantidad de información existente de esta plataforma. Otra de las razones principales por las cuales se empleó la placa mostrada en la Figura 2 es su capacidad para acoplarle diversos componentes, ya que la plataforma cuenta con una gran cantidad de pines. Adicionalmente, también se le integró la placa Shield Xbee Pro mostrada en la Figura 3, la cual tiene una gran facilidad de acoplamiento tanto con el módulo microcontrolador como con el módulo de comunicación.

El módulo de adquisición de datos es el encargado de sensar y de registrar tanto los accesos como las salidas de los vehículos, por lo cual se integrará el módulo lector RC522 RFID mostrado en la Figura 4, el cual es un dispositivo que emplea la tecnología de identificación mediante ondas de radio para establecer una comunicación inalámbrica entre un lector y una etiqueta RFID (Selva, 2021).

Este módulo funciona con una alimentación de 3.3 V, por lo que se conecta directamente con la tarjeta Arduino®. De igual manera, se integró al módulo recolector de datos, un reloj de tiempo real RTC DS3231 para poder monitorear la hora de entrada y de salida cada vez que el lector RFID detecte un tag válido.

Figura 2

Placa Arduino® Mega 2560 (Arduino, 2024).



Figura 3
Shield Xbee Pro para Arduino® (Digi, 2019).



Figura 4
RC522 RFID (Handson, 2022).

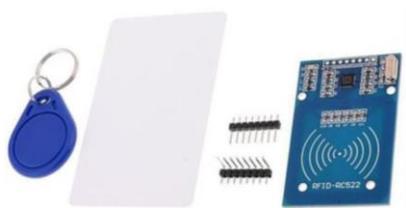
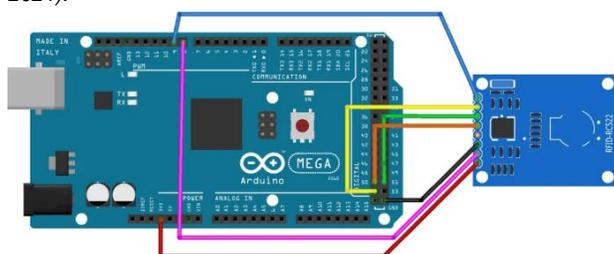


Figura 5
Conexión entre el Arduino® Mega 2560 y el módulo RC522 RFID (Selva, 2021).



La manera de conectar el módulo RFID al Arduino® varía dependiendo del modelo de la placa que se utilice.

En la Figura 5, se muestra la conexión entre la placa de Arduino® Mega 2560 y el módulo RC522 RFID.

La Tabla 1, resume la conexión entre los pines de estos dispositivos.

Tabla 1
Conexiones entre pines del Arduino® Mega 2560 con el módulo RC522 RFID (Selva, 2021).

Módulo RC522	Arduino® Mega 2560
SDA	D9
SCK	D52
MOSI	D51
MISO	D50
IRQ	N/A
GND	GND
RST	D8
3.3V	3.3V

Como el sistema propuesto se centra en un dispositivo capaz de controlar el acceso vehicular en centros públicos de estacionamiento con afluencia continua, y que está compuesto de dos diferentes dispositivos, se requiere que la comunicación entre ambos sea de forma inalámbrica. Así, para enviar y recibir

la información, se conectó al módulo de adquisición de datos el dispositivo de comunicación Xbee mostrado en la Figura 6, el cual trabaja bajo el protocolo de comunicación de ZigBee.

Figura 6
Módulo de comunicación Xbee (Digi, 2019).



Zigbee es un protocolo de comunicación inalámbrica creado específicamente para aplicaciones que requieren bajos niveles de consumo de energía. Su desarrollo se centró en ofrecer una solución confiable y eficiente para facilitar la comunicación entre dispositivos en diversos entornos, como domótica, automatización industrial, atención médica, supervisión de sensores y otras aplicaciones afines (Gislason, 2008).

El módulo de comunicación Xbee es un producto creado por la compañía Digi International. Estos módulos Xbee incorporan el protocolo Zigbee y ofrecen una interfaz sencilla para facilitar la comunicación inalámbrica en redes Zigbee.

Para la programación del módulo de comunicación se utilizó el software XCTU proporcionado por Digi International. Los módulos de comunicación tienen dos modos de programación y se pueden definir como módulos coordinadores o módulos de adquisición de datos. Esto se hace mediante la modificación de los parámetros del módulo, tal y como se muestra en la Figura 7.

Figura 7
Programación del modo de los módulos de comunicación Xbee.

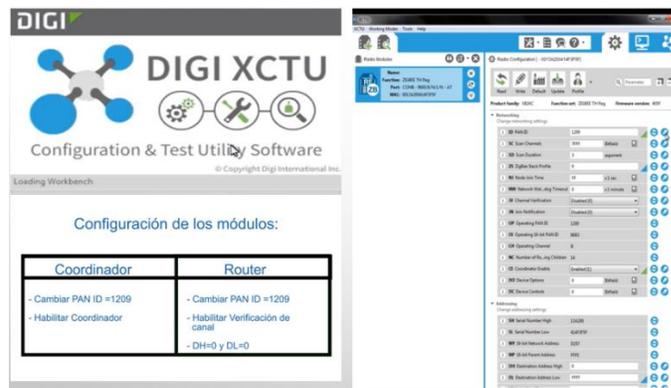
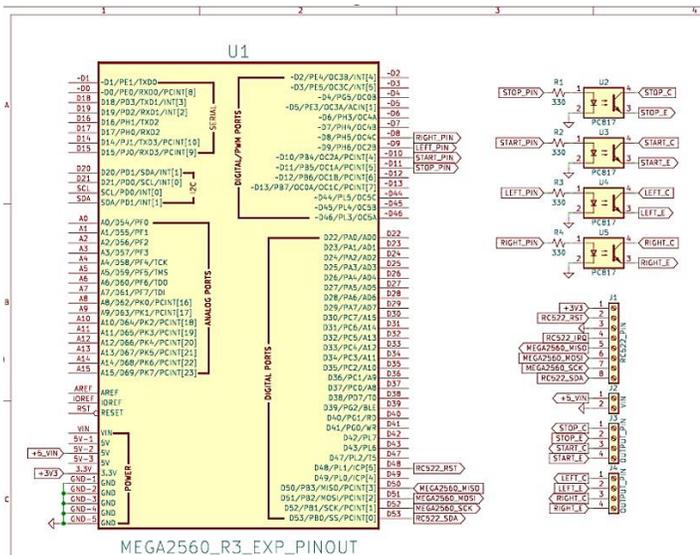


Figura 8

Módulo de adquisición de datos.



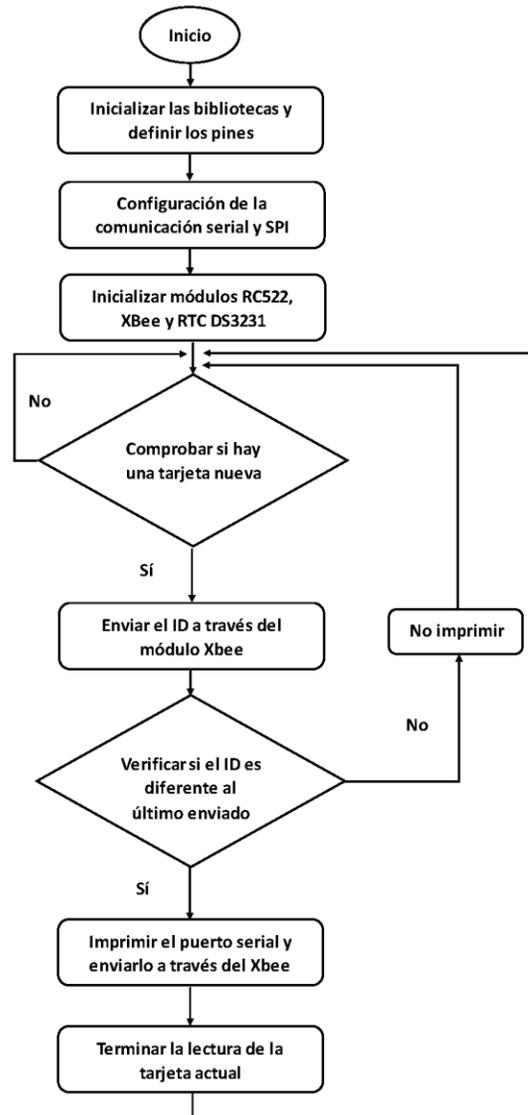
Figura 9 Diagrama de conexiones del módulo de adquisición de datos.



En el caso del módulo de adquisición de datos se programó como con el modo de adquisición. Una vez configurados los dispositivos de forma individual, el paso siguiente fue el montaje del módulo de adquisición de datos mostrado en la Figura 8, para después comenzar con el desarrollo del algoritmo necesario para el correcto funcionamiento del módulo. De igual manera, la Figura 9 muestra un esquema del diagrama de conexiones del módulo de adquisición.

Para el desarrollo del algoritmo lógico del funcionamiento del módulo de adquisición, se siguió el diagrama de flujo mostrado en la Figura 10. Este diagrama muestra el proceso y las acciones a realizar, además de algunas tomas de decisión necesarias para que el módulo funcione de la manera deseada

Figura 10 Diagrama de flujo para algoritmo del módulo de adquisición.



2.2 Módulo Controlador

Un módulo de control es un dispositivo electrónico diseñado para gestionar y regular el funcionamiento de sistemas o procesos. Su objetivo principal es tomar decisiones basadas en la información recopilada por medio de módulos de adquisición que cuentan con sensores y dispositivos asociados, para así mantener o modificar el estado de un sistema conforme sea necesario (Gallardo y Villazón, 2018). Para el desarrollo del módulo de control se requirió utilizar un dispositivo que fuera capaz de evaluar y controlar eficientemente los procesos del sistema, por lo cual se eligió la tarjeta Raspberry Pi versión 3 mostrada en la Figura 11. Raspberry es mini ordenador de bajo costo y tamaño compacto con diversas utilidades, como por ejemplo navegar por internet, jugar juegos, programar y más (Kempler et al., 2012).

Figura 11
Raspberry Pi 3 (Kempner et al., 2012).



El motivo principal por el cual se optó utilizar una Raspberry fue por su facilidad de manejo, además de su adaptabilidad para ser integrada en diversas aplicaciones. En este trabajo, la Raspberry cumplió el objetivo de administrar toda la información que le fuera enviada por el módulo receptor con los datos RFID.

Al igual que en el caso del módulo de adquisición, también se empleó un dispositivo de comunicación Xbee, pero a diferencia del otro, éste fue configurado como módulo coordinador. Para poder conectar físicamente los puertos de la Raspberry con los pines del dispositivo de comunicación se utilizó el módulo de acoplamiento Raspberry Pi Xbee Shield V2 mostrado en la Figura 12.

Este módulo es colocado de forma directa sobre la Raspberry Pi y proporciona una interfaz tanto física como eléctrica para conectar fácilmente y de manera segura módulos Xbee, los cuales tienen un zócalo compatible. Además, este módulo de adaptación incluye circuitos de regulación de voltaje y la lógica necesaria para adaptar las señales entre la Raspberry Pi y el módulo Xbee.

Asimismo, es necesario ver el contenido de la Raspberry al utilizarlo como si fuera un miniordenador, por lo que para visualizar toda la información de manera simultánea y seguir con el proceso de configuración de la tarjeta se le conectó el monitor mostrado en la Figura 13.

Figura 12
Raspberry Pi Xbee Shield V2 (Raspberry, 2020).



Figura 13
Monitor conectado a la Raspberry Pi 3.



Una vez que la Raspberry se conectó al monitor, se procedió a realizar los ajustes básicos mostrados en la Figura 14, como son las actualizaciones de la tarjeta y la instalación de los paquetes necesarios para iniciar con el desarrollo del sistema. Raspberry utiliza el sistema operativo Raspbian, el cual es de licencia libre y está basado en Debian.

Figura 14
Configuración del sistema y descarga de paqueterías.



Después que se configuró el módulo coordinador, se procedió a realizar un programa capaz de recibir la información del módulo de adquisición. Para poder desarrollar este programa, se utilizó uno de los editores que vienen por defecto dentro del sistema de la Raspberry y se utilizó el lenguaje de programación de Python. A continuación, se muestra el código fuente para la recepción de información a través del puerto de consola de la Raspberry.

```
1. #!/usr/bin/env python3
2. import os,time
3. import serial
4. import RPi.GPIO as GPIO
5. pin = 23
6. GPIO.setmode(GPIO.BCM)
7. GPIO.setwarnings(False)
8. GPIO.setup(pin,GPIO.OUT)
```



```

10.
11.     ser = serial.Serial('/dev/tty0',
12.         baudrate = 9600,
13.         timeout = 1 )
14.     #counter = 0
15.     Time.sleep(3)
16. try:
17.     while True:
18.         #time.sleep(1)
19.         #print ("sending data to Arduino...")
20.         #ser.write("Hola desde Raspberry pi\n ".encode('utf-8'))
21.         Time.sleep(0.01)
22.         while ser.in_waiting > 0:
23.             x = ser.readline().decode('utf-8')
24.             print (x)
25.     except KeyboardInterrupt:
26.         print("Cerrando comunicación...")
27.         time.sleep(1)
28.         ser.close
29.

```

2.3 Diseño y Fabricación del Prototipo

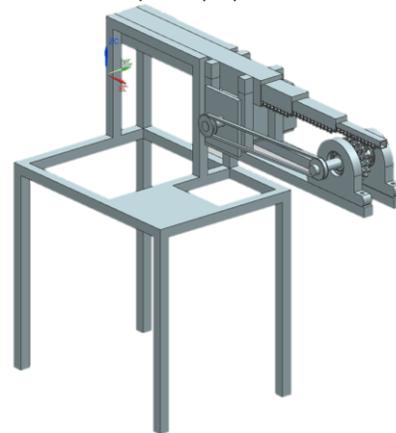
En este proyecto se optó por desarrollar una estructura que no solo cumpliera con las funciones de una pluma de estacionamiento, sino que también fuera algo diferente y de bajo costo. Por lo que después de desarrollar una exhaustiva investigación se decidió fabricar el prototipo presentado. En la investigación realizada se compararon las características y los costos de varios modelos existentes en el mercado. El resultado fue que estos sistemas son de un costo muy elevado debido a sus componentes y a sus mecanismos de accionamiento como lo son los pistones hidráulicos.

Para diseñar el prototipo de la estructura que controlará el acceso vehicular en los estacionamientos se utilizó el software de Siemens NX®. Para esto, se propuso una pluma retráctil, la cual es capaz de alargarse y retraerse gracias un mecanismo conformado por secciones móviles.

El prototipo desarrollado se compone primero de una base, la cual se anclará al suelo y se encargará de soportar a todo al prototipo y de mantener estabilidad de la estructura. Para lograr el movimiento lineal de los elementos móviles de la pluma se diseñó una transmisión que convirtiera el movimiento circular de un motor acoplado mediante una cadena a un eje constituido por engranajes. Estos engranes se unen a los elementos móviles mediante porciones de cadenas soldadas lateralmente a las secciones móviles, logrando así que el motor provea la fuerza para alargar y retraer los elementos de la pluma.

En la Figura 15, se muestra el diseño del prototipo de la pluma desarrollado en NX. Gracias a esta herramienta CAD/CAM/CAE se determinaron cada uno de los elementos necesarios para el prototipo y también se realizaron varias animaciones del mecanismo. Una vez verificado su correcto funcionamiento en ambas direcciones, se procedió primero a construir la estructura físicamente utilizando perfiles PTR de varios calibres.

Figura 15
Diseño en Siemens NX® de la pluma propuesta.



En la Tabla 2, se enlistan los materiales utilizados para la fabricación del prototipo, donde cada uno de sus elementos tiene una función específica muy importante. Además, se muestra el costo de cada elemento para así poder estimar el costo total aproximado de la inversión realizada. El prototipo construido consta de 3 partes principales: 1) la base, 2) la trasmisión y, 3) el mecanismo móvil. Una vez que se terminaron de fabricar cada una de las partes, éstas se montaron y finalmente se verificó su funcionamiento de manera manual y a baja velocidad.

Tabla 2
Materiales utilizados en la fabricación del prototipo.

CANTIDAD	MATERIAL	COSTO (MXN)
1	1m de perfil rectangular de 2*4, calibre18	\$150
1	1m de perfil rectangular de 1½ *3, calibre18	\$125
1	1m de perfil rectangular de 1*2, calibre18	\$110
1	1.5m de perfil rectangular de ½ *1, calibre18	\$100
3	12m de perfil cuadrado de 1*1, calibre18	\$450
(tramos de 4m)	2 Chumaceras de ½	\$300
1	1 Barra circular de ½	\$50
1	1 Piñón de bicicleta de cambios	\$75
3	3m de cadena de bicicleta	\$150
(tramos de 1m)	TOTAL	\$1,510

En la Figura 16, se muestra el prototipo inicial construido, en el cual se pueden identificar los elementos mencionados anteriormente.

2.4 Actuador

En la Figura 17, se muestra el actuador que fue integrado en el prototipo, el cual consiste de un Servomotor SureServo SVL-207B controlado mediante el drive SVA-2100. Se eligió este par de componentes no solo por su compatibilidad sino por las características que ofrecen en cuanto al control preciso de la

posición y la velocidad. También es importante mencionar que la capacidad del torque generado por este servomotor excede el necesario en la presente aplicación, por lo cual con el objetivo de reducir el costo del prototipo éste se puede reemplazar con otro de menor potencia.

Figura 16

Prototipo inicial de la pluma propuesta.



En la Figura 18, se muestra el prototipo de la pluma ya con el motor y el drive montados. Asimismo, se puede observar la cadena de acoplamiento entre el motor y el eje de engranes.

Figura 17

Drive y motor utilizados en el prototipo de la pluma.



Figura 18

Prototipo de la pluma con el drive y motor ya montados y acoplados.



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Funcionamiento del Sistema

Antes de conectar el actuador y el prototipo físico con el sistema de control, se realizó una prueba preliminar para verificar que el sistema funcionara correctamente y que enviará una secuencia de señales cuando detectara un tag válido, y así poder indicarle al actuador cuando comenzar y cuando detenerse. Para realizar estas pruebas se montó el banco mostrado en la Figura 19, el cual está conformado por una fuente, el módulo de adquisición, el módulo de control y los indicadores luminosos para mostrar la secuencia lógica de funcionamiento.

El sistema probado cuenta con las tres secuencias mostradas en la Figura 20. La primera indica una señal de arranque y el giro del actuador en sentido horario, la segunda representa el paro del motor, y la tercera es el arranque y giro del actuador en sentido antihorario.

3.2 Pruebas con el Prototipo Completo

La última etapa en el desarrollo de la pluma consiste en unir todos los elementos que componen el sistema automatizado, para lo cual se integraron el prototipo físico, la transmisión, el controlador y el sistema de adquisición de datos. Posteriormente, se verificó su funcionamiento realizando una serie de pruebas. En la primera, la pluma mantiene todos sus elementos móviles completamente extendidos, para así simular el bloqueo al acceso vehicular, tal y como se muestra en la Figura 21. Una vez que el módulo lector detecta un tag, el sistema analiza su validez, y en

Figura 19

Banco de pruebas para evaluar el funcionamiento del sistema.

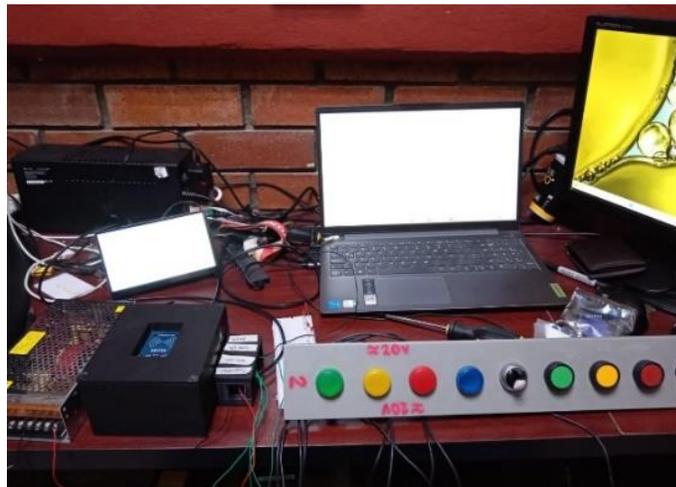


Figura 20
Secuencias de trabajo del actuador.



Figura 21
Pluma extendida para bloquear el acceso vehicular.



Figura 22
Pluma con las secciones móviles en proceso de retracción para desbloquear el paso.



Figura 23
Pluma con las secciones móviles completamente guardadas y controlador en espera que pase el vehículo.



En caso de que sea aprobado entonces permite el acceso y las partes móviles comienzan a retraerse hasta entrar casi por completo dentro de la guarda secciones. Este procedimiento de retracción, se muestra en la Figuras 22 y 23. Después, el controlador espera unos segundos, simulando así el tiempo que tarda un vehículo en pasar, y finalmente el controlador activa el actuador y la pluma extiende nuevamente sus secciones para volver a bloquear el paso y esperar la lectura de un nuevo tag.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo presentó el desarrollo de un sistema innovador, funcional y eficiente para la gestión de acceso vehicular a través de la implementación de tecnología RFID.

La integración en la pluma propuesta de la tarjeta Arduino, la Raspberry Pi, el módulo de reloj, los módulos de comunicación inalámbrica, el drive y el motor, junto con los elementos mecánicos de engranes, cadenas, y secciones de PTR mostraron una excelente sinergia donde todos sus componentes tuvieron un muy buen desempeño. Asimismo, el software desarrollado en lenguaje C y en Python funcionaron muy bien. Además, el diseño en NX® fue muy útil antes de pasar al proceso de fabricación.

La capacidad del sistema para registrar y monitorear en tiempo real los eventos de acceso vehicular proporciona una herramienta valiosa para el cobro de la tarifa por el servicio, así como para la administración y la seguridad en los estacionamientos.

Las simulaciones y pruebas realizadas validaron su buen desempeño y efectividad, demostrando que puede operar de manera consistente y confiable en condiciones reales.

El prototipo final construido tiene el potencial para ser una solución competitiva en el mercado.

V. AGRADECIMIENTOS

O. F. González-Ramírez agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado en el marco del "Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado" con número de solicitud 2022-000018-02NACF-14546.

Los autores también agradecen al TecNM, al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) y al Instituto Tecnológico de La Laguna por el apoyo económico recibido para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Igualmente, agradecemos al Mtro. Víctor Edi Manqueros Avilés, por el apoyo brindado en el desarrollo de las pruebas y la obtención de los resultados experimentales con el drive SVA-2100 y el servomotor SureServo SVL-207B.

VI. REFERENCIAS

- Arduino. (2024). Guía de Modelos Arduino y sus Características: Arduino Mega 2560. *BricoGeek Lab*. Modelos de Arduino. <https://lab.bricogeek.com/tutorial/guia-de-modelos-arduino-y-sus-caracteristicas/arduino-mega-2560>
- Blanco, F., Massaferrero, P. y Torterolo, S. (2008). ADQ-VX. [Tesis de Ingeniería. Universidad de la República de Uruguay]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/2795/1/BMT08.pdf>
- Brinkman, J. y Perez, R. (2024). Vehicle Barrier Gate Arm Having Anti-Roll End Cap. (*United States Patent*). <https://patentimages.storage.googleapis.com/10/e4/b8/46f7a5118fe9bd/US11873609.pdf>
- Castillo, M. G. y Angel, D. M. A. (2019). *Construcción de un Prototipo de Aplicación Local para el Control de Acceso de Personal Utilizando Tecnología RFID en la Universidad de Cundinamarca Facatativá* [Tesis de Ingeniería, Universidad de Cundinamarca]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2037/CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20APLICACI%C3%93N%20LOCAL%20PARA%20EL%20CONTROL%20DE%20ACCESO%20DE%20PERSONAL%20UTILIZANDO.pdf?sequence=1>
- Digi (2019). *Comparación de Módulos XBee Más Populares - XBee.cl*. Comunicación Inalámbrica Para Tus Proyectos. <https://xbee.cl/comparativa/>
- Gallardo, E. E., y Villazón, A. (2018). Sistema de Monitoreo energético y Control Domótico Basado en Tecnología "Internet de las Cosas." *Revista Investigación & Desarrollo*, 18(1), 103–116. <https://doi.org/10.23881/idupbo.018.1-8i>
- Gislason, D. (2008). *Zigbee Wireless Networking*, 1st ed (Burlington: Newnes)
- Handson (2022). *RC522 RFID Development Kit*. Handson Technology Data Specs [Archivo PDF]. <http://www.handsontec.com/dataspecs/RC522.pdf>
- Izardel, L. (2007). Vehicle Barrier with Light. (*United States Patent*). <https://patentimages.storage.googleapis.com/32/7e/f2/ba55f727f7769a/US7258461B1.pdf>
- Kempler, C., Hall, H., y Finn, C.E. (2012). Raspberry. In: Badenes, M., Byrne, D. (eds) *Fruit Breeding. Handbook of Plant Breeding*, vol 8. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9_8

- Lumsden, R., Sirju, J., y Fortney, B.C. (2014). Vehicle Barrier System with Illuminating Gate Arm and Method. (*United States Patent*). <https://patentimages.storage.googleapis.com/4c/bb/ec/20a5d8e5c99ad9/US20140363229A1.pdf>
- Raspberry. (2020). Sixfab XBee Shield V2 at Raspberry Pi GPIO Pinout. https://pinout.xyz/pinout/sixfab_xbee_shield_v2
- Rihl, M. (2009). Boom Barrier. (*United States Patent*). <https://patentimages.storage.googleapis.com/69/91/3b/09d3fa1392913e/US20090244889A1.pdf>
- Sanchis Llopis, R., Ariño Latorre, C. V., y Romero Pérez, J. A. (2010). *Automatización industrial*. Publicacions de la Universitat Jaume I, Servei de Comunicació i Publicacions.
- Selva, J. (2021). Interfacing RFID-RC522 with Arduino Mega a Simple Sketch. *Instructables*. <https://www.instructables.com/Interfacing-RFID-RC522-With-Arduino-MEGA-a-Simple/>
- Stoller, D. (1990). Parking Space Barrier. (*United States Patent*). <https://patentimages.storage.googleapis.com/c3/84/f2/18ed9a79add4b5/US4941284.pdf>

VII. AUTORES

Óscar Francisco González Ramírez

<https://orcid.org/0000-0001-5226-4575>

Jorge Lara Cardoso

<https://orcid.org/0000-0002-2746-7044>

Concepción Hernández Flores

<https://orcid.org/0000-0002-4757-530>

Marco Antonio Arjona López

<https://orcid.org/0000-0003-1826-4066>

Luis Amado González Vargas

<https://orcid.org/0009-0008-9094-6188>