

Visión Artificial Aplicada al Control de Estacionamiento Vehicular de Organismo Público

Marcelo O. Cejas¹, José L. Catalano¹, Javier N. Gonella¹, Javier G. Panero¹, Franco M. Salvático¹ y Fabián M. Sensini¹

(1) Facultad Regional Villa María, Dpto. de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Avenida Universidad 450, Villa María, Córdoba-Argentina.
E-mail: dpto-electronica@frvm.utn.edu.ar

Resumen

Se ha diseñado un sistema de control de estacionamiento para ser aplicado en áreas medias a grandes de organismos públicos, particularmente aplicado a la Facultad Regional Villa María de la UTN. Se cuenta con dos secciones principales, la detección de matrículas en el acceso y el egreso del estacionamiento para identificar los vehículos mediante uso de software libre, y la otra se compone de un conjunto de sensores que permiten obtener en tiempo real la ocupación de parcelas del estacionamiento. Todo el sistema se encuentra comandado por un servidor central en el que corren los procesos de detección y control estadístico del lugar. Su funcionamiento básico es identificar el vehículo que ingresa, asignar un lugar disponible mostrándolo en el indicador en pantalla realizando la posterior apertura de barrera, una vez que el sensor detecta ocupada la parcela se registra en el servidor. A la salida se procede de manera similar, registrando el evento en el historial del vehículo según matrícula. En base a las configuraciones y análisis realizados se pudo obtener una gran confiabilidad del software de reconocimiento de patentes y de sistema de detección de ocupación. Además, se obtuvo un tiempo de autonomía de batería de sensor suficiente como para reducir su mantenimiento a más de 5 años.

Palabras clave: Gestión de estacionamiento, ALPR, sensor magnético inalámbrico.

Artificial Vision Applied to Vehicle Parking Lot Control in Public Organization

Abstract

A vehicle parking lot control has been designed carried out on Facultad Regional Villa María - UTN. It has two main sections, one is license plate recognition at the parking lot access and exit to identify vehicles using free licensed software, the other is a set of sensors that allow real time parking occupancy detection. Control processes running on a main server manage statistically parking occupancy. Main tasks are vehicle identification, show on screen assigned park place, open access barrier and store vehicle occupancy on each park place. On vehicle exit stores information by license plate at user registry. Based on results analysis high reliability has been achieved using license plate recognition software, in addition to long sensor battery lifetime of more than 5 years, reducing its maintenance.

Keywords: Parking lot management, ALPR, wireless magnetic sensor

INTRODUCCIÓN

Existe gran cantidad de investigaciones sobre el desarrollo de técnicas de detección, seguimiento de vehículos y asistencia al conductor (Ozby, S. et al. 2005). En el presente trabajo se resalta el uso de técnicas de visión artificial y procesamiento de imágenes para resolver problemas que son de gran importancia en la actualidad: tal es el caso de estacionamiento vehicular en entidades públicas de dimensiones medias a grandes. Las imágenes obtenidas de una cámara de alta resolución son procesadas con el fin que una máquina pueda asimilar todos los elementos de la imagen, es así cómo se concibe la visión artificial como el “proceso de extracción de información del mundo físico a partir de imágenes utilizando para ello un computador” (Cha, K. et al. 1992).

Para llegar al resultado deseado, se plantea una serie de etapas, que van desde el reconocimiento de un vehículo hasta obtener el texto de la matrícula. Luego de la localización del vehículo, se utiliza la detección de patrones y caracteres, mediante el reconocimiento automático de placas de patente (Automatic License Plate Recognition, ALPR) que es la técnica de obtención de la patente a partir de una imagen o serie de imágenes (Moretti, I. et al. 2016).

Además, para un mayor control de espacios disponibles en el estacionamiento, es posible utilizar reconocimiento de patrones y sensores, para luego ir asignando de manera estadística la ubicación a los nuevos vehículos que ingresan al predio del organismo. De esta manera realiza un registro completo de la estadía de cada unidad, para optimizar el uso del espacio en días y horarios.

UBICACIÓN

El sistema de control es aplicado en el área de estacionamiento de vehículos automotores de la Facultad Regional Villa María de la Universidad Tecnológica Nacional (FRVM UTN), ubicada en la ciudad de Villa María, provincia de Córdoba, Argentina. Este espacio fue diseñado para ubicar 130 vehículos, de las cuales 4 son adaptadas para personas con movilidad reducida, del personal de la institución, docentes, estudiantes y visitantes. La Fig. 1 muestra el plano de distribución de los espacios de estacionamiento.

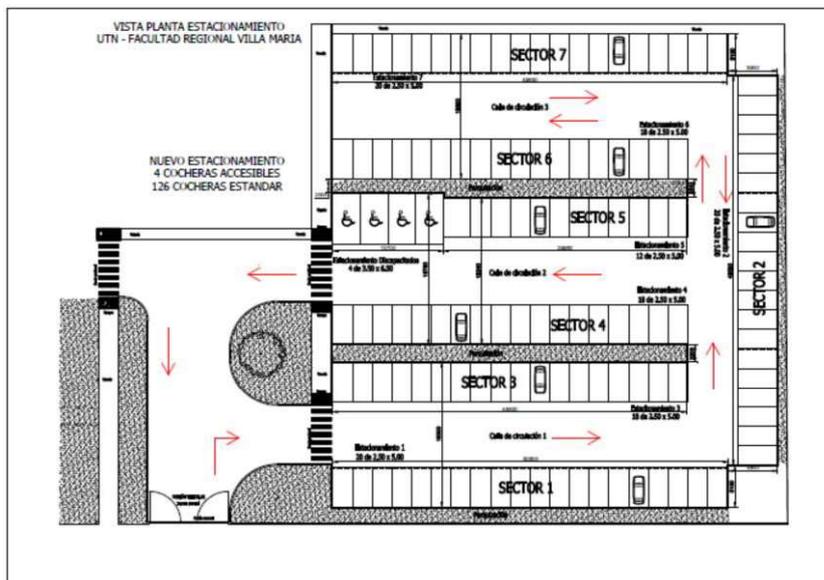


Fig. 1. Área de estacionamiento de la FRVM UTN.

De acuerdo al día y horario, el flujo de vehículos que permanecen en el estacionamiento varía según el nivel de actividad académica, la cual principalmente se desarrolla por la tarde y la noche, a partir de las 12 Hs y hasta las 22 Hs. En base al estudio de ocupación previo mediante cámaras de seguridad, se pudo determinar que existe un flujo promedio de entrada/salida de vehículos de aproximadamente 31 por hora, con máximos de entrada entre las 17 y 18 horas y máximos de salida de 21 a 22 hs. Además, permite obtener el mayor pico de ocupación que se da entre las 19 y 20 horas, como se observa en la Fig. 2.

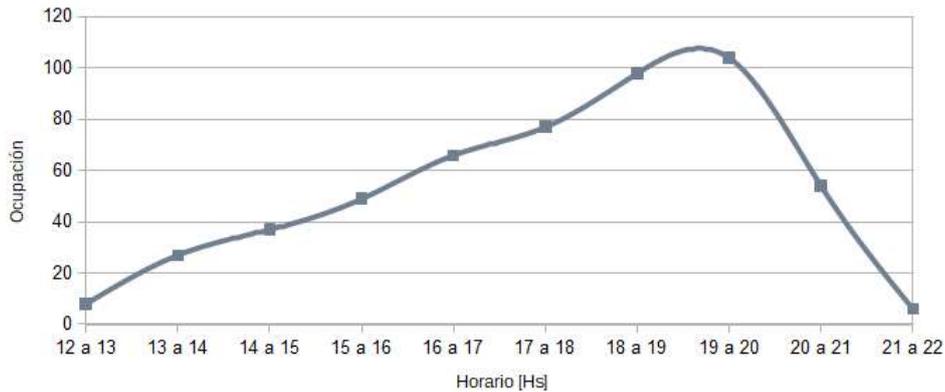


Fig. 2. Ocupación promedio de parcelas

Se señala que no existe ningún control anterior a la implementación de este desarrollo, por lo que la ubicación de los vehículos la selecciona el conductor en base a los lugares disponibles. Sólo se cuenta con personal de seguridad en el área.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El desarrollo de este sistema se basa en la modularidad con el objeto de aislar cada una de las problemáticas y presentar soluciones de manera adecuada. El esquema general de módulos que intervienen en el funcionamiento se muestra en la Fig. 3.

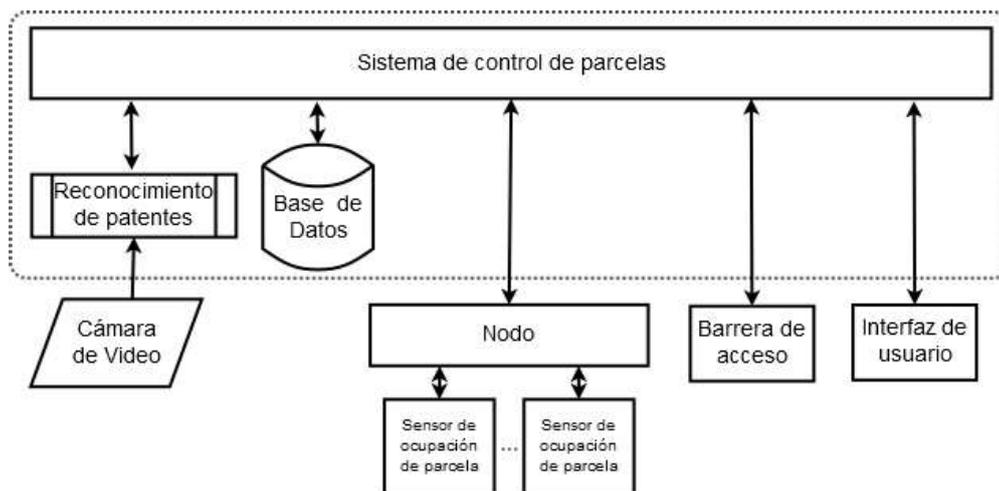


Fig. 3. Esquema general de módulos

Reconocimiento de patentes

Existe una variedad de herramientas disponibles capaces de realizar esta tarea, las cuales en su mayoría requieren entrenamiento para reconocer las patentes de diferentes jurisdicciones. Estas placas pueden estar diseñadas con diferentes colores, uso de diferentes tipografías o cambios en la estructura del texto. Esto conlleva a que la calidad de las imágenes con las que se lleve adelante el proceso sea uno de los factores más importantes en el éxito del reconocimiento automático de patentes (ALPR). En este trabajo, se implementa mediante la utilización de un sistema basado en software libre, configurado con el objetivo de reconocer las matrículas vigentes en Argentina.

De manera sintética el reconocimiento de patentes conlleva una serie de etapas (Gaikwad, D. Y. et al, 2014), mostradas en la Fig. 4.

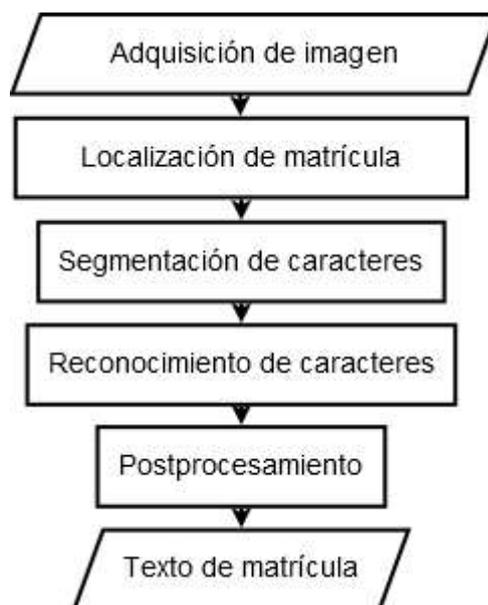


Fig. 4. Etapas del reconocimiento de patentes.

El primer paso es la adquisición de una imagen que puede ser frontal o posterior del vehículo, que corresponde a ubicaciones de entrada y salida del recinto, mediante una cámara digital de alta resolución. La imagen capturada puede estar afectada por numerosos factores propios de la toma de imagen como son distorsión óptica, ruido, exposición incorrecta, o movimiento, que dificultan el posterior procesamiento de la misma. Las imágenes son mejoradas antes de pasar a la siguiente etapa mediante la conversión en escala de grises, reducción de ruido, mejoramiento de bordes, normalización de brillo y contraste.

En la localización de la matrícula se tiene una etapa de detección que utiliza algoritmo de patrones binarios locales (LPB) que le permiten hallar posibles áreas compatibles con matrículas en base a las configuraciones de cada modelo, esto genera como resultado la posición y el tamaño de las regiones dentro de la imagen. Posteriormente se realizan varias binarizaciones sucesivas a cada región, esto es convertirlas en blanco y negro con distintos parámetros, lo que aumenta las posibilidades de obtener todos los caracteres de la matrícula. Luego se analiza cada región en búsqueda de subregiones compatibles con los tamaños y proporciones de caracteres configurados, comenzando desde los más pequeños a los más grandes, de no detectarse estas zonas el procesamiento no continúa. En caso positivo, se sigue con la detección de bordes de la matrícula, tratando de identificar todas las líneas horizontales y verticales, las esquinas encontradas en conjunto con los posibles caracteres de la etapa anterior, conlleva a una mejor coincidencia. Como último paso se realiza un enderezamiento de la imagen para que esté en posición y proporciones habituales.

Para la segmentación de caracteres, se hace una separación de cada carácter respecto de los otros generando nuevas imágenes. Para lograrlo, se utiliza un histograma vertical que identifica los espacios entre cada carácter, también quita pequeños puntos o distorsiones que estén desconectadas de las zonas principales. Asimismo, se eliminan los bordes de la matrícula para que posteriormente no sean identificadas como caracteres.

El paso más importante y crítico es el reconocimiento de caracteres, que consiste en escalar y redimensionar las imágenes obtenidas en la segmentación para compararlas con los posibles caracteres de las matrículas. Se realiza mediante el reconocimiento óptico de caracteres dando como resultado todas las posibles coincidencias en conjunto con el nivel de veracidad.

La última fase es el postprocesamiento, que utiliza la lista de los posibles caracteres para determinar las mejores combinaciones compatibles con las matrículas, tomando los resultados del reconocimiento sobre cierto nivel de veracidad y contrastando con el número de caracteres y tipo (letras o números) que puedan formar el dominio del vehículo.

Cabe destacar que en Argentina se encuentran vigentes dos modelos de matrículas para vehículos automotores, las cuales tienen características particulares que debieron ser ajustadas en los archivos de configuración del software para obtener una mejor correlación de los resultados con la imagen suministrada. En la Tabla 1, se señalan las especificaciones fundamentales de cada modelo.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de las matrículas vigentes en Argentina

Característica	Matrícula anterior Disp. N° 471/2011 DNRPA	Matrícula actual Disp. N° 411/2015 DNRPA
Ancho	294 mm	400 mm +/- 2 mm
Alto	129 mm	130 mm +/- 2 mm
Color fondo carácter	Negro	Blanco reflectivo
Dimensiones carácter	32 mm / 67 mm	30 mm / 65 mm
Tipografía	Sin datos	FE Engshrift
Color carácter	Blanco reflectivo	Negro
Número de caracteres	6	7
Combinación de caracteres	3 letras, 3 números	2 letras, 3 números, 2 letras
Separación entre caracteres / bloques	10 mm / 90 mm	10 mm / 31 mm

Se ha seleccionado para utilizar en esta implementación el *software libre* OpenALPR debido a que posee disponible una versión con licencia Affero GPLv3, la cual es diseñada específicamente para asegurar la cooperación con la comunidad de software que corre en servidores de red.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas sobre las dos versiones de patentes, se obtuvo que se realiza una detección y reconocimiento más efectivo para el nuevo diseño, considerando tomas de imágenes con ángulos horizontales que van desde los -35° a 35° respecto del frente del vehículo, y con un ángulo vertical entre 0 y 30°, respecto del nivel promedio de ubicación de la matrícula.

Detección de ocupación de parcela

La detección de parcela ocupada puede ser realizada mediante reconocimiento de patrones desde cámaras elevadas (Meduri, P., et al, 2018) o por sistema de sensores individuales en cada parcela de estacionamiento (Ma, S. et al, 2014). De las dos, se ha tomado como prioritaria la segunda, debido a que parte del recinto de estacionamiento posee aleros de protección ante condiciones climáticas adversas que dificultan la visión desde un plano elevado de los vehículos, además se planea completar este tipo de protecciones a todas las ubicaciones, lo que implicaría aumentar el número de cámaras requeridas para cubrir la misma área insumiendo además un mayor procesamiento de imágenes, ya sea local o centralizada.

Para el sistema de detección, se diseñan sensores inalámbricos interconectados a concentradores o nodos que informan el estado al servidor central. Los sensores, uno por cada parcela, se ubican de forma tal que el vehículo al estacionar queda sobre el sensor. Se protegen con una carcasa de alto impacto que soporta golpes y el paso de las ruedas del vehículo, además es estanca que asegura su funcionamiento a la intemperie. Cada sensor consta de un microcontrolador, un transceptor inalámbrico, un magnetómetro de tres ejes y una batería, tal cual se observa en la Fig. 5. El principio de funcionamiento se basa en la detección de presencia de vehículo como cuerpo metálico.

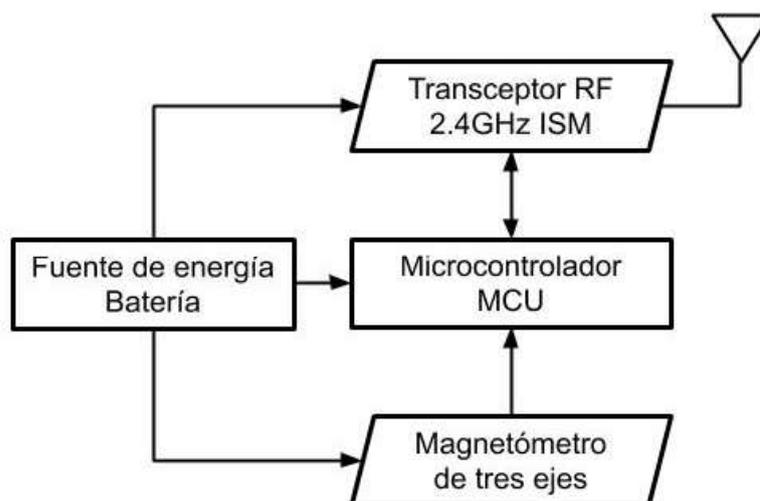


Fig. 5. Sensor de ocupación de parcela

El magnetómetro de tres ejes es un circuito integrado (HoneyWell, 2013) que consta de sensores magnetorresistivos que junto a acondicionadores de señal permiten medir la magnitud y dirección del campo magnético con gran precisión. Los sensores están hechos de una aleación de alta permeabilidad magnética dispuesta en forma de elemento resistivo. En presencia de campo magnético se produce un cambio en la resistividad del elemento lo que corresponde a un cambio en la salida. Los elementos se disponen ortogonalmente en tres ejes lo que permite medir la dirección de campo en cualquier orientación. Es posible detectar la presencia o ausencia de un vehículo sobre la parcela ya que éste modifica el campo magnético de forma local.

El microcontrolador mide a intervalos específicos de tiempo el valor del campo magnético detectado por el magnetómetro en tres direcciones y compara con valores pasados, almacenados en su memoria interna, tomados como base. El vehículo en parcela distorsiona el campo magnético local de forma dinámica al ingresar o egresar de la misma y de forma estática cuando se detiene. En caso de detección de un cambio en el campo magnético lo almacena para su posterior comunicación enciende el transceptor y comunica el nuevo estado de ocupación de parcela al nodo concentrador. El transceptor es del tipo inalámbrico y trabaja en la banda ISM 2.4GHz (banda de radio industrial-científica-médica). Es totalmente integrado y contiene un sintetizador de frecuencia, amplificador de potencia, modulador y demodulador GFSK multi canal.

Es fundamental hacer uso eficiente de la energía consumida por cada sensor ya que depende de una batería para alimentarse. Todos los componentes son de bajo consumo, y el microcontrolador gestiona el encendido y apagado de acuerdo a la necesidad de funcionamiento del sistema. Cuando no se encuentra activo entra en modo inactivo, de esta forma se maximiza el rendimiento de la batería.

De acuerdo a los consumos de energía medidos de cada componente y la duración de cada proceso calculamos la energía total consumida por día. La batería utilizada es de Litio con 2600mAh de capacidad nominal. Como se observa en la Tabla 2, teniendo en cuenta el flujo promedio de autos entrada/salida por día y la cantidad de parcelas disponibles en el estacionamiento podemos estimar la vida útil de batería según el número de vehículos. Para un promedio de 3 vehículos por día por parcela se calcula una vida útil de batería de 8,8 años y se observa que para 100 vehículos la vida útil se mantiene por sobre los 3 años lo cual nos da un buen desempeño para todo tipo de escenario. El mayor consumo del sistema lo realiza el transceptor pero no impacta proporcionalmente ya que solo es activado para informar el cambio de estado de ocupación de parcela. Esto nos permite una vida operativa más que suficiente comparado con la vida útil de la tecnología utilizada en la fabricación de la batería.

Tabla 2. Consumo de corriente promedio y vida útil de batería de sensor

Número de Vehículos	Modo de trabajo	Tiempo de trabajo por día [s]	Corriente promedio [mA]	Vida útil [Años]
0	Activo	209	0,032	9,2
	Inactivo	86190		
3	Activo	216	0,034	8,8
	Inactivo	86184		

30	Activo Inactivo	281 86119	0,048	6,2
100	Activo Inactivo	449 85951	0,084	3,5

Los sensores se comunican con el nodo que concentra todos los mensajes enviados a él. La comunicación se gestiona de forma asincrónica y cada sensor al detectar un cambio de estado de ocupación de parcela, enciende el transceptor e intenta comunicarse al nodo. Al producirse una falla en la comunicación intenta nuevamente hasta lograrla. La gestión de colisiones no presenta un problema ya que los tiempos de comunicación son en extremo cortos comparados con la cadencia de entrada y salida de vehículos. El nodo además del transceptor ISM se compone de una minicomputadora industrial conectada al sistema de control centralizado vía red local IP.

Sistema de control de parcelas

El sistema de control centralizado se implementa en un servidor local en el que se instalaron el software de reconocimiento de patentes *OpenALPR*, un servidor web y una base de datos MySQL. La configuración del ALPR se realiza de manera que ante el reconocimiento de una matrícula, se envía la información en formato JSON (JavaScript Object Notation) a un proceso web que es el encargado de buscar ubicaciones disponibles y asignarlas al usuario. El almacenamiento de las ocupaciones de parcelas se hace en tiempo real de acuerdo a la información que entregan los sensores a través de sus nodos concentradores.

Se ha realizado una interfaz de administración web que permite acceder al estado actual del estacionamiento, como así también a información histórica de entradas, salidas y ocupaciones. A su vez, permitirá asociar matrículas a usuarios frecuentes lo que conlleva también a una mayor optimización ya que es posible realizar una predicción de ocupaciones conociendo los horarios en que cada usuario permanece en la Facultad.

La asignación de las parcelas se realiza otorgando las mismas en orden de cercanía a la entrada principal de manera de disminuir el uso de combustible. En caso de realizarse una asignación, y la parcela no es ocupada antes de 90 segundos, se considera no ocupada y puede volver a asignarse. Esta condición puede darse en el caso que se trate de acceso transitorio para ascenso o descenso de pasajeros, o porque el conductor ocupó otra parcela. La información de ocupación se actualiza cada 10 segundos, por lo que es posible subsanar estos inconvenientes de manera rápida.

Interacción con el usuario

La interacción con el usuario se lleva a cabo mediante dos elementos principales, el primero es un indicador pantalla que permite mostrar la ubicación de parcela que se le ha asignado al vehículo, y el otro es una barrera electromecánica que permite el ingreso al predio de estacionamiento. Ambos elementos son controlados por minicomputadoras industriales.

El funcionamiento conjunto de estos elementos se da de la siguiente manera, una vez que el sistema detecta la patente del vehículo, le muestra al conductor en el indicador pantalla la parcela que debe ocupar y luego eleva la barrera para que pueda ingresar al estacionamiento. Ésta cuenta con detector de presencia para evitar daños en el vehículo mediante el uso de una barrera infrarroja.

Para la salida del estacionamiento se utiliza igual procedimiento, con una barrera de características similares a la de ingreso, es decir que cuando detecta la matrícula del vehículo que intenta egresar, se eleva para que pueda retirarse.

En caso de no detectarse matrícula, se cuenta con un sensor magnético tanto en la entrada como la salida que permiten la apertura de la barrera, la verificación posterior es realizada de manera manual.

Implementaciones futuras

Como parte del trabajo a futuro, se contempla realizar una interfaz web para los usuarios que les permita acceder a información referida a sus accesos y tiempos de permanencia. Para ello se asociarán los vehículos con los usuarios, que además permitirá indicar si alguno de los usuarios posee movilidad reducida y así asignar los espacios destinados a tal efecto, cercanos a la entrada de la Facultad.

Asimismo, se plantea introducir un mecanismo de notificaciones mediante SMS y/o notificaciones de aplicación a los usuarios registrados, indicando la parcela donde estacionaron el vehículo como así la hora de ocupación. Al retirar el vehículo se le indicará la hora de salida y su tiempo de permanencia.

Además, se integrará a los mecanismos de acceso e indicadores un sistema ininterrumpido de energía, UPS, de manera de mantener el funcionamiento frente a cortes del suministro. Cabe señalar que el servidor cuenta con sistema UPS, al encontrarse en la sala de servidores de la institución.

Por otra parte, se encuentra en análisis implementar un sistema de tarifación con el objetivo de optimizar el espacio, este sistema se vinculará con los medios de pago electrónicos disponibles en la Facultad, todo ello a través de la aplicación que se diseñará para el sistema.

CONCLUSIONES

En base a la ejecución de la etapa inicial, y considerando que es un proyecto en ejecución, se puede concluir de manera preliminar que el sistema de detección de matrículas funciona correctamente con gran confiabilidad, ya que con las configuraciones aplicadas referidas a las dimensiones y patrones de caracteres se detectan ambos modelos de patentes argentinas. El sensor inalámbrico de ocupación de parcela tiene una autonomía suficiente y no ha presentado inconvenientes frente al entorno de instalación, lo que impacta en el bajo mantenimiento requerido. El servidor central realiza correctamente la integración de los procesos planteados, de esta manera se logra un funcionamiento general del sistema, de acuerdo lo planteado y estipulado en las etapas de investigación.

REFERENCIAS

- Cha, K., Horch, K. W., & Normann, R. A. (1992). Mobility performance with a pixelized vision system. *Vision research*, 32(7), 1367-1372.
- Gaikwad, D. Y., & Borole, P. B. (2014). A Review Paper on Automatic Number Plate Recognition (ANPR) System. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 1(1).
- HoneyWell (2013). HMC5883L 3-Axis Digital Compass IC. *Disponibile en <https://aerospace.honeywell.com>*
- Ma, S., Xu, C., Bao, X., Wang, Y., & Li, F. (2014). Reliable wireless vehicle detection using magnetic sensor and distance sensor. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 8(1), 112.
- Meduri, P., & Telles, E. (2018). A Haar-Cascade classifier based Smart Parking System. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition (IPCV)* (pp. 66-70). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Moretti, I., Jorge, J., Amado, J., Caniglia, C., Puntillo, D., & Blasco, M. (2016) Software libre para reconocimiento automático de las nuevas patentes del Mercosur.
- Ozbay, S., & Ercelebi, E. (2005). Automatic vehicle identification by plate recognition. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 9(41), 222-225.