



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA EN ESTUDIOS DE TRANSITO Y TRANSPORTE – PARTE 1**

**Karen Natalia Figueroa Niño**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Civil y Agrícola  
Bogotá, Colombia  
2016



# **APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA EN ESTUDIOS DE TRANSITO Y TRANSPORTE – PARTE 1.**

**Karen Natalia Figueroa Niño**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería- Transporte**

Director:  
Msc. William Castro García

Codirector:  
Phd. Jose Félix Vega Stavro

Línea de Investigación:  
Diseño y gestión vial

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Civil y Agrícola  
Bogotá, Colombia  
2016



*A Dios... gracias porque todo es para que tu propósito se cumpla en mi vida. A ti sea la gloria, te dedico cada día de mi vida.*

*A mis padres y mis hermanos, sin su apoyo, su ejemplo y sus enseñanzas, nada de esto sería posible. Mis logros son para ustedes.*

*A mi Juanse... cambiaste mi vida, espero que siempre te sientas orgulloso de tu tía y mi vida pueda ser ejemplo en la tuya, te amo como a nadie.*

*A mi Tío Omar, a ti te debo estudiar en la mejor Universidad del país, la vida no me alcanzará para agradecerte todo lo que haces por mí.*

*A Diego, por tu impulso y tu apoyo incondicional. Eres el mejor asesor técnico y personal, tus consejos son mi vitamina diaria, gracias por acompañarme en este viaje de la vida.*

*“El principio de la sabiduría es el temor a Dios”*

*Prov 1:7*



## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Colombia, Alma Máter, le debo mi formación profesional y gran parte de la persona que soy hoy.

Al Ingeniero Msc William Castro García, quien es responsable de haberme encaminado en esta rama de Ingeniería, gracias por todas las enseñanzas profesionales y personales y gracias por hacerme parte de esta gran investigación, una pequeña puerta a todas las aplicaciones de las ITS en nuestro país.

Al Ingeniero Phd Jose Félix Vega, profesor asociado del departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, por su acompañamiento estos años, sus directrices, enseñanzas y oportunidades de desarrollar este trabajo de grado y hacer parte del gran equipo de trabajo del proyecto “Plataforma de control Inteligente de Vehículos”.

A Ernesto Neira, Paola Ordoñez, Edwin Pineda, Andrés Arévalo y Raúl Pineda, que buenos profesionales son.



## Resumen

El presente trabajo de grado tiene como objetivo, aplicar la tecnología de identificación por radio frecuencia, en estudios de volúmenes vehiculares, matrices origen destino y rotación de estacionamientos. Para esto, se realizaron pruebas de toma de información en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y en una ruta de transporte intermunicipal en el Municipio de Chía, demostrando la eficiencia del sistema respecto a tomas de información manual convencional.

Para esto se elaboró un estado del arte, mediante el análisis cuantitativo, de los diferentes estudios utilizados actualmente para mediciones de volúmenes vehiculares, matrices origen destino y rotación de estacionamientos, se analizó la implementación de las etiquetas RFID como herramienta tecnológica de soporte en la detección electrónica de vehículos para estudios de tránsito y transporte, aplicados en una primera etapa para tres estudios en particular. Finalmente y se diseñaron las pruebas del registro electrónico de vehículos en el campus de la Universidad Nacional y en el Municipio de Chía – Cundinamarca y se analizaron los datos obtenidos.

**Palabras clave:** RFID, sistemas inteligentes de transporte, monitoreo de tráfico vehicular, Ingeniería de Tránsito, Conteos vehiculares, Matriz O-D, Estacionamientos.

## Abstract

This document aims to implement Radio Frequency Identification (RFID) technology in studies related to vehicle counts, origin-destination matrix and parking. To reach this purpose, collecting data tests were carried out at National University of Colombia in Bogota and in an inter-municipal transport route between Bogota and Chia showing the efficiency of RFID in comparison with manual collecting data.

As part of the process, a theoretical frame was elaborated using a scientrometric analysis of the different studies such as vehicle counts, origin-destination matrix and parking; secondly, the implementation of RFID as a supporting technological tool to electronical vehicle detection was examined in studies for traffic and transport applied in three stages; finally, vehicle counts test were designed and done in the campus of National University of Colombia and in Chia, Cundinamarca, and then all the data was analyzed.

**Keywords:** RFID, Intelligent Transport Systems, Traffic Data Collection, Traffic Engineering, Vehicle counts, O-D Matrix, Parking.



# Contenido

1	Introducción .....	15
2	Estado del arte .....	17
2.1	Análisis cuantitativo .....	17
2.1.1	Fuentes de información: .....	17
2.1.2	Términos y temas de búsqueda .....	18
2.1.3	Construcción y ejecución de la consulta .....	19
2.2	Principales Hallazgos .....	22
2.3	Conteos Vehiculares .....	24
2.3.1	Conteos manuales .....	25
2.3.2	Conteos automáticos .....	25
2.3.2.1	Tubos neumáticos: .....	26
2.3.2.2	Circuitos de inducción .....	28
2.3.2.3	Sensores de “Peso-en-movimiento” .....	30
2.3.2.4	Detectores tipo radar .....	31
2.3.2.5	Cámaras de video .....	31
2.4	Estacionamientos .....	32
2.4.1	Oferta y demanda .....	32
2.4.2	Estudios de estacionamientos .....	33
2.4.2.1	Evaluación de la oferta .....	33
2.4.3	Evaluación de la demanda .....	34
2.4.3.1	Generación y acumulación .....	34
2.4.3.2	Número de placas .....	34
2.4.4	Estudios para la caracterización de estacionamientos .....	35
2.5	Matrices Origen-Destino .....	36
2.5.1	Estudios para la caracterización de Matrices O-D .....	37
3	Etiquetas RFID en estudios de Transito y Transporte .....	39
3.1	Análisis de la Identificación por Radio Frecuencia (RFID). .....	39
3.1.1	Tecnología RFID .....	39
3.1.1.1	Etiquetas (Tags) y Antenas .....	39
3.1.1.2	Lector .....	40
3.1.1.3	Plataforma de Comunicación .....	40

3.1.2	Aplicaciones de RFID.....	40
3.2	Aplicación de RFID en estudios de Tránsito y Transporte.....	42
3.2.1	Dispositivos de control de tráfico .....	42
3.2.2	Gestión de estacionamientos.....	44
3.2.3	Sistemas de Transporte – Buses.....	46
3.3	Experiencias del uso de sistemas RFID en Latino América. ....	48
3.3.1	Proyecto SINIAV .....	48
3.3.1.1	Características del SINIAV .....	49
3.3.1.2	Aplicaciones del SINIAV.....	50
3.4	Integración de los sistemas de identificación de vehículos para estudios de tránsito y transporte en Colombia.....	52
4	Diseño de las pruebas de RFID en el campus de la Universidad Nacional y en Chía – Cundinamarca .....	55
4.1	Prueba Piloto Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá .....	57
4.1.1	Definición de la prueba .....	57
4.1.2	Validación Manual .....	59
4.2	Prueba Piloto Chía – Cundinamarca.....	61
4.2.1	Definición de la prueba .....	61
4.3	Definición de estrategias de socialización .....	63
4.3.1	Análisis de involucrados.....	64
4.3.1.1	Diseño y aplicación de estrategias de contacto con actores Alfa y Omega 65	
4.3.1.2	Resultados .....	65
4.3.2	Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.....	67
4.3.2.1	Instalación de Tags .....	69
4.3.3	Municipio de Chía Cundinamarca .....	71
5	Análisis y recolección de la información obtenida. ....	73
5.1	Prueba Universidad Nacional.....	73
5.2	Prueba Chía Cundinamarca.....	76
5.3	Recolección de información manual vs RFID .....	82
5.3.1	Costos asociados a la toma de información.....	82
5.3.2	Recolección de datos .....	91
5.3.3	Procesamiento de la información .....	96
6	Conclusiones y Recomendaciones .....	99
6.1	Conclusiones.....	99

6.2	Recomendaciones .....	105
7	Bibliografía.....	107

## Lista de Gráficas

Gráfica 1	Volúmenes Vehiculares, Prueba Piloto Universidad Nacional .....	74
Gráfica 2	Matriz Origen – Destino, Prueba Piloto Universidad Nacional .....	75
Gráfica 3	Permanencia en estacionamiento, Prueba Piloto Universidad Nacional .....	76
Gráfica 4	Comportamiento Diario de viajes y vehículos – Mes de Noviembre .....	77
Gráfica 5	Comportamiento Diario de viajes y vehículos – Semana de 23 al 29 de Noviembre .....	78
Gráfica 6	Tiempo promedio de Viaje – Mes de Noviembre .....	79
Gráfica 7	Tiempo de viaje promedio por días.....	80
Gráfica 8	Tiempo de viaje en día típico (Jueves) .....	81
Gráfica 9	Tiempo de viaje en día atípico (Sábado) .....	81
Gráfica 10	Tiempo de viaje en día atípico (Domingo) .....	82
Gráfica 11	Toma de información manual vs. RFID prueba Universidad Nacional.....	89
Gráfica 12	Toma de información manual vs. RFID prueba Municipio de Chía .....	90
Gráfica 13	Eficiencia General del sistema.....	92
Gráfica 14	Portería Capilla .....	93
Gráfica 15	Portería Uriel Gutiérrez.....	94
Gráfica 16	Portería Calle 53.....	95

## Lista de Figuras

Figura 1	Conteos manuales en Bogotá D.C.....	25
Figura 2	Tubos neumáticos registrando información en vía rural .....	28
Figura 3	Circuitos de inducción sobre una vía interestatal de 3 carriles por sentido. ....	29
Figura 4	Sensores de “Peso en Movimiento” .....	30
Figura 5	Cámara de video por acceso en intersección semaforizada. ....	31
Figura 6	Matriz OD utilizando PTV Vision.....	36
Figura 7	Representación esquemática de la intersección semaforizada utilizando la tecnología RFID .....	44
Figura 8	Antenas y central de información del sistema SINIAV .....	50
Figura 9	Arquitectura del sistema de detección de vehículos .....	56
Figura 10	Ubicación de Lectores RFID y recorrido lector móvil Universidad Nacional - Sede Bogotá.....	58
Figura 11	Formato de campo .....	60
Figura 12	Tipos de Vehículo.....	61
Figura 13	Ruta de Transporte Público Terminal de Chía – Portal 170. ....	62
Figura 14	Ubicación de Lectores RFID, Municipio de Chía - Cundinamarca.....	63

Figura 15 Volantes impresos para distribución Universidad Nacional .....	69
Figura 16 Volantes impresos para distribución Municipio de Chía.....	72
Figura 17 Interfaz de Consulta Aplicación PCIV - UNAL.....	96
Figura 18 Interfaz de Consulta Aplicación PCIV - CHÍA.....	97

## Lista de Tablas

Tabla 1 Fuentes de Información.....	18
Tabla 2 Términos y temas de búsqueda.....	19
Tabla 3 Resumen de búsqueda por fuente de información .....	19
Tabla 4 Cantidad de publicaciones pertinentes por autor y tema.....	21
Tabla 5 Distribución de autores por temática .....	23
Tabla 6 Resultados Socialización .....	66
Tabla 7 Costos Toma de información Manual Prueba Universidad Nacional .....	83
Tabla 8 Costos Toma de información Manual Prueba Municipio de Chía.....	85
Tabla 9 Costos Toma de información con RFID para Prueba Universidad Nacional.....	87
Tabla 10 Costos Toma de información con RFID para Prueba Municipio de Chía .....	88
Tabla 11 Número de días para costos iguales metodología manual vs RFID.....	90
Tabla 12 Casos de recolección de información .....	91

# 1 Introducción

Los sistemas de identificación y monitoreo de vehículos hacen parte de las soluciones tecnológicas que re-fuerzan los mecanismos de vigilancia y control del tráfico. Entre estos se encuentran los sistemas y plataformas para la Identificación Automática de Vehículos, que pueden emplearse no sólo para conocer la identidad de los vehículos sino para realizar ensayos de toma de información en campo como aforos, matrices origen destino y comportamiento de estacionamientos así como monitorear las infracciones de los conductores (giros prohibidos, contravía, exceso de velocidad) y para obtener indicadores de tráfico (flujo de vehículos, entre otros).

Actualmente en Colombia se utilizan algunos métodos para el monitoreo de vehículos que debido a sus características técnicas suministran información no tan precisa o en algunos casos incompleta, y no cuenta con mecanismos de auditoría a los datos generados, estos procedimientos se realizan mayoritariamente mediante cámaras y radares de medición de velocidad. Sin embargo, en los municipios donde este tipo de tecnología no está instalada, el monitoreo se realiza manualmente por autoridades de tránsito, maximizando las limitaciones antes descritas, lo que limita el número y la duración de los operativos de control, afectando la efectividad y la trazabilidad de los mismos.

El monitoreo mediante cámaras permite identificar fácilmente las características exteriores del vehículo, pero no siempre es capaz de identificar la placa del mismo, especialmente en horas de la noche, en condiciones de baja visibilidad (lluvia, mala iluminación) o cuando el ángulo de observación no es el adecuado. Estos efectos se ven reflejados de la misma forma en las tomas de información manual mediante mediciones en campo.

Los radares tienen efectividad sólo en la detección de velocidad y necesitan una cámara asociada para identificar al vehículo. Esto nos lleva nuevamente a las limitaciones que presentamos en el párrafo anterior.

Cada uno de estos modos de monitoreo son aplicables a escenarios específicos y tiene costos y grados de efectividad variados. Esto tiene una incidencia directa en la estimación de parámetros de tránsito, necesarios para la toma de decisiones e implementación de políticas de movilidad. Adicionalmente, la efectividad en la detección y seguimiento de infracciones, necesarias para el control del tráfico, se ven afectadas por la falta de un sistema adaptado a las características del parque vehicular; en consecuencia, un análisis de elementos tecnológicos, procedimentales y metodológicos para el desarrollo de un sistema de monitoreo y control de vehículos se revela necesario.

Una solución como la planteada en esta investigación cumple con estos requisitos. La identificación por radio frecuencia (RFID) es unívoca y altamente efectiva (en el rango de distancias de medición del lector). La plataforma puede medir de manera continua e ininterrumpida diversos tipos de vehículos, en condiciones de poca o nula visibilidad, puede integrar lectores fijos instalados en puntos críticos de las ciudades y lectores móviles instalados en operativos itinerantes.

Por otro lado, la detección automática de vehículos tiene diferentes aplicaciones que pueden utilizarse para la medición de variables de tránsito y transporte y el desarrollo de estudios de movilidad dentro de las cuales se desatacan:

- Volúmenes vehiculares.
- Matrices Origen – Destino
- Rotación de estacionamientos.
- Medición de velocidades.
- Cobros electrónicos de peajes.
- Acceso o restricción a zonas de control vehicular.
- Control de vehículos en pico y placa.
- Control de documentos del vehículo (Comparendos, revisiones técnico mecánicas, DIJIN, entre otros)
- Tarjetas de operación de vehículos de transporte público colectivo e individual.
- Niveles de Servicio y densidades vehiculares de tramos de vía.
- Clasificación vehicular y composición del tráfico.
- Determinación de tasas de crecimiento a partir de series históricas.
- Determinación de factores de estacionalidad horaria, diaria, semanal y mensual.
- Detección de infracciones.

Este trabajo final de maestría se enfocará en tres aplicaciones específicas: Volúmenes vehiculares, matriz origen-destino y rotación de estacionamientos, utilizando la tecnología RFID para realizar estos estudios, en poblaciones específicas que voluntariamente accedieron a hacer parte de la pruebas y que se encuentran vinculadas a la Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá y al Municipio de Chía – Cundinamarca.

Es importante mencionar que el Ministerio de Transporte a través de Colciencias, lanzó una propuesta para la creación de una plataforma tecnológica, para el control y monitoreo de vehículos, basada en RFID y en sistemas de información. Respondiendo a este llamado, la Universidad Nacional de Colombia presentó una propuesta llamada Plataforma para el Control Inteligente de Vehículos, aprobada en noviembre de 2013 y en desarrollo a partir de febrero de 2014, hasta Diciembre de 2015. Este trabajo de grado se enmarca dentro del desarrollo de dicha investigación, teniendo en cuenta que dentro del proyecto era necesaria la vinculación de estudiantes de maestría que desarrollaran sus trabajos de grado a partir de éste.

## 2 Estado del arte

El estado del arte de este trabajo tiene como objetivo la recolección y revisión de la literatura nacional e internacional sobre estudios utilizados para mediciones de volúmenes vehiculares, matrices origen destino y rotación de estacionamientos, evaluando las ventajas y desventajas de los procedimientos actuales.

Para esto, se realiza la revisión de la literatura mediante un análisis cuantitativo o bibliometría, cuyo fin es el análisis cuantitativo de la construcción de documentos científicos, con el fin de investigar el desarrollo, la estructura, el componente dinámico y las tendencias de las prácticas científicas referentes a un tema.

Dicho análisis se debe realizar de manera sistemática con el fin de establecer parámetros e indicadores válidos y definir el grado de investigación actual como punto de partida para los aportes a realizar mediante la investigación actual. (Torres Salinas, Ruiz Pérez, & Delgado López, 2010)

### 2.1 Análisis cuantitativo

Transversal a las diferentes áreas de la ciencia, las aplicaciones cuantitativas se han clasificado y enfocado en la recuperación de la literatura, la obtención de nuevo conocimiento, revisiones bibliográficas, análisis de las ciencias, evaluación, gestión y política.

A continuación se presenta la revisión detallada de la información relacionada con las mediciones de volúmenes vehiculares, matrices origen destino y rotación de estacionamientos, y aplicaciones de la identificación por radio frecuencia (RFID), empleando la metodología expuesta en la **“Guía para la Observación Tecnológica”** del Ministerio de Educación y Ciencia, mediante el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de la Comunidad Valenciana.

#### 2.1.1 Fuentes de información:

Debido a su reconocimiento y accesibilidad fueron escogidos tres (3) de los buscadores académicos más relevantes, teniendo en cuenta su capacidad de abarcar grandes cantidades de información para luego ir al detalle en términos de temáticas específicas como el reconocimiento por radio frecuencia en ingeniería de tránsito y las diferentes metodologías de registro de información de la operación del tránsito.

Estas fuentes fueron consultadas mediante la red universitaria de la Universidad Nacional de Colombia y se encuentran consignadas en la Tabla 1.

**Tabla 1 Fuentes de Información**

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	URL
<b>Google Scholar™</b>	Motor de búsqueda especializado en recuperar documentos científicos y en identificar citas bibliográficas. (Torres Salinas, Ruiz Pérez, & Delgado López, 2010)	<a href="https://scholar.google.es/">https://scholar.google.es/</a>
<b>Microsoft Academic Search™</b>	Motor de búsqueda especializado para explorar las conexiones en la investigación, a través de los registros de publicación de los investigadores, universidades y organizaciones de investigación. (Biblioteca del Campus de Vicálvaro, 2012)	<a href="http://academic.research.microsoft.com/">http://academic.research.microsoft.com/</a>
<b>ScienceDirect™</b>	Recurso para investigación científica, técnica y médica.	<a href="http://www.sciencedirect.com/">http://www.sciencedirect.com/</a>

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.2 Términos y temas de búsqueda

Con el objetivo de establecer una metodología sistemática al momento de consultar las fuentes de información, se establecieron palabras “clave” básicas. La selección de los conceptos clave se realizó para abarcar la temática de forma general, encaminando la búsqueda al término particular, todo esto teniendo en cuenta el tema central del estudio.

Al inicio, las temáticas buscadas fueron áreas de la ingeniería civil y la detección por radio frecuencia. Más adelante, se realizó una búsqueda en temas de ingeniería de tránsito y transporte al igual que aplicaciones a la ingeniería de la tecnología RFID.

Finalmente, se buscaron conceptos específicos como ensayos de campo, tecnologías de detección automáticas, detección en tiempo real y etiquetas RFID.

Con lo anterior, los conceptos buscados y sus equivalentes en inglés se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2 Términos y temas de búsqueda**

TÉRMINO	EQUIVALENCIA
Ingeniería Civil	Civil Engineering
Ingeniería de Tránsito	Traffic Engineering
Ingeniería de Transporte	Transportation Engineering
RFID	RFID
Recolección de información en tránsito	Traffic Data Collection
Conteos vehiculares	Vehicle counts
Matriz O-D	O-D Matrix
Estacionamientos	Parking
Aplicaciones de RFID	RFID engineering applications
Matriz O-D a partir de conteos	O-D Matrix using traffic counts
Demanda de estacionamientos	Parking Demand
Oferta de estacionamientos	Supply Demand
Conteos en tránsito	Traffic counts
Usos de RFID en tránsito	RFID traffic applications

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.3 Construcción y ejecución de la consulta

Una vez definidos los términos y temas (ver Tabla 2) se construyó y ejecuto la consulta, asignando y filtrando la terminología, teniendo en cuenta que todos los documentos son de producción académica. Al realizar la depuración de la base, se organizaron los documentos de tal forma que se pudiera evidenciar el número de citas, autores, títulos y temas con el fin de identificar la relevancia y pertinencia de los documentos con el presente trabajo de grado.

La Tabla 3 presenta el resumen de la búsqueda.

**Tabla 3 Resumen de búsqueda por fuente de información**

FUENTE	TÉRMINO	TIPO	RESULTADOS	TOTAL
Microsoft Academic	Traffic Data Collection	<i>All fields</i>	882	8.620
	Radio Frequency Identification	<i>All fields</i>	6.321	

FUENTE	TÉRMINO	TIPO	RESULTADOS	TOTAL
	OD Matrix	<i>All fields</i>	354	
	Traffic Counts	<i>All fields</i>	949	
	Supply / Demand Parking	<i>All fields</i>	114	
<b>Science Direct</b>	Traffic Data Collection Methods	<i>All fields</i>	240	5.307
	RFID tag	<i>All fields</i>	1.065	
	Origin Destination Matrix Traffic	<i>All fields</i>	1.530	
	Car counts - Vehicle	<i>All fields</i>	616	
	Parking Supply	<i>All fields</i>	1.856	
	Parking Demand	<i>All fields</i>	772	
<b>Google Scholar</b>	Conteo vehicular	<i>All fields</i>	2.070	6.005
	Matriz origen - destino	<i>All fields</i>	3.030	
	Demanda de estacionamientos	<i>All fields</i>	280	
	Oferta de estacionamientos	<i>All fields</i>	211	
	Etiqueta detección radiofrecuencia	<i>All fields</i>	414	
	Registro de placas vehiculares Matriz OD	<i>All fields</i>	897	

Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla de datos obtenida de la construcción de la búsqueda, se generaron diferentes indicadores, mediante un análisis estadístico, que permitiera analizar la información teniendo en cuenta los autores, y la temática relacionada.

La Tabla 4 presenta la cantidad de publicaciones, que se consideraron pertinentes, asociadas a los autores y a los temas de interés.

**Tabla 4 Cantidad de publicaciones pertinentes por autor y tema.**

AUTORES	TEMA	NÚMERO DE DOCUMENTOS	
David A. Hensher	Data Collection	9	
Baibing Li	OD Matrix	4	
L R Rilett		4	
Ana-Maria Olteanu-Raimond		3	
Anahid Nabavi Larijani		1	
Cezary Ziemlicki		1	
Domenico Inaudi		1	
Ennio Cascetta		1	
Julien Perret		1	
Maria Nadia Postorino		1	
T. Denaeux		1	
Torgil Abrahamsson		1	
Donald Shoup		Parking	6
William H. K. Lam			3
Stephen Ison	1		
Jian Wang	Parking demand	2	
Eren Inci		1	
Jenny King	Parking supply/demand	1	
Aoxiang Wu	RFID	2	
Anirudhha Chandra		1	
Xiaoguang Yang	RFID Traffic application	2	
Imran Moez Khan		1	
Kenneth Buckeye		1	
Mokhaled Mustafa Mohammed		1	
Othman O. Khalifa		1	
Randy Halvorson		1	
Paul P Jovanis		Traffic Data Collection	13

AUTORES	TEMA	NÚMERO DE DOCUMENTOS
Haris Koutsopoulos		5
Benjamin Coifman		2
H. Christopher Frey		2
James D. Colyar		2
Karthik Srinivasan		1
Michael Ostland		1
Upendra Kumar		1
Sophie Midenet		Traffic flow
Satish Chandra	Traffic Volumes	4
Alexandre M. Bayen	Vehicle counts	7
Anthony Chen		4
Anukool Lakhina		1
Chao Wang		1
Hai Yang		1
Juan Carlos Herrera		1

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Principales Hallazgos

En términos generales el motor de búsqueda que más aportó a este análisis fue Microsoft Academic Search™, con 8.620 artículos relevantes en las diferentes temáticas solicitadas. Éste buscador permite identificar autores, realizar análisis geográficos y búsquedas avanzadas según palabras clave de tipo mandatorio y sinónimos; Google Scholar™ arrojó 6.902 y ScienceDirect™ 6.079.

El buscador con información más reciente fue Microsoft Academic Search, el cual, abarca los artículos y referencias más recientes en las revistas más relevantes. Por otra parte, el buscador más eficaz para obtener artículos en español fue Google Scholar.

Finalmente, el buscador de más fácil uso fue ScienceDirect™ ya que vincula un motor de búsqueda rápido con una plataforma que le permite al usuario realizar consultas complejas en temáticas paralelas.

Los conceptos claves buscados arrojaron un panorama interesante en términos de la oferta de información de RFID. A pesar de que esta búsqueda se centró en RFID aplicado a la toma de información en tránsito, se encontraron otras aplicaciones de RFID que lo hacen el tema con más artículos asociados (10.416), la toma tradicional de información

en tránsito arrojó 3.192 resultados, los estudios de estacionamientos arrojaron 2.384 resultados, matrices origen-destino (2.164) y conteos vehiculares (1.776).

Relacionando autores con temáticas se encontró que el tema que más autores tiene es Matriz Origen-Destino, seguido por la toma de información en tránsito, seguido por RFID y conteos vehiculares (8) y finalmente estacionamientos es el tema que menos autores relacionó. (Ver Tabla 5)

**Tabla 5 Distribución de autores por temática**

TEMA	AUTORES
Data Collection	1
OD Matrix	11
Parking	3
Parking demand	2
Parking supply/demand	1
RFID	2
RFID Traffic application	6
Traffic Data Collection	8
Traffic flow	1
Traffic Volumes	1
Vehicle counts	6
<b>Total general</b>	<b>42</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de los autores más destacados por temática se encontraron: Paul P. Jovanis (13) y David A. Hensher (9) son los autores más relevantes en toma de información en tránsito; Donald Shoup (6) es el autor más relevante en estudios de estacionamientos; Baibing Li (4) y L. R. Rilett (4) son los autores más relevantes en insumos para matrices origen-destino; Aoxiang Wu (2) y Xiaoguang Yang (2) son los autores más relevantes en aplicaciones de RFID en ingeniería de tránsito.

A partir de los artículos pertinentes encontrados, se presenta un resumen de los estudios y metodologías de recolección de información de tránsito relacionada con conteos vehiculares, estacionamientos y matrices origen-destino.

### 2.3 Conteos Vehiculares

La recolección de información primaria del tránsito vehicular es el insumo principal para el proceso de administración de una red vial y el desarrollo de esquemas alrededor del ordenamiento vehicular. La descripción del tránsito evalúa intrínsecamente diferentes características de la región en términos de su economía teniendo el mejoramiento de la movilidad un impacto directo en su productividad. La aplicación de las metodologías apropiadas para el proceso de recolección de información es de vital importancia para el correcto diagnóstico de la movilización de personas y bienes, y para el análisis de formulación de futuros esquemas de transporte apropiados tanto para las vías públicas como para el sector privado.

El proceso de recolección de información primaria es un insumo de vital importancia para el diseño y operación de una red vial. Es así como el flujo vehicular es un fenómeno aleatorio con diversas motivaciones por parte de los usuarios que a su vez se movilizan en diversos modos de transporte en diversos ambientes. Por lo anterior, el correcto procedimiento de toma de información debe ir de la mano con el análisis multivariado estadístico que evalúe los diversos patrones del flujo. Sin embargo, y a pesar de su complejidad, la ingeniería ha logrado simplificar este fenómeno en parámetros fácilmente evaluables. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

En la actualidad, se utilizan principalmente dos tipos de conteos: Conteos Manuales y Conteos Automáticos. Cuando se desea identificar el tipo de conteo más adecuado para la toma de información, se debe determinar primero la magnitud de la información que se desea recopilar, es decir la cantidad, calidad y el nivel de detalle de los datos. A pesar de que no existe una diferencia significativa entre una metodología u otra, conocer el nivel de flujo a aforar y las diferentes variables que requieren ser analizadas, genera una conexión directa con el punto de vista económico, la cantidad y la calidad de la toma de información. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

En el contexto colombiano, los conteos de tipo manual han sido ampliamente utilizados por las administraciones para evaluar la movilidad en centros urbanos y en vías rurales. No obstante, investigaciones han demostrado que cuando el número de vehículos por hora es mayor de 2000 es recomendable utilizar un sistema automático para evitar el error. Los conteos manuales se consideran precisos hasta un volumen de 1000 vehículos por hora y aceptables entre 1000 y 2000. De igual forma se recomienda tener estaciones permanentes de conteo vehicular (mediante conteo automático) cuando el número de éstos sobre pasa los 2000veh/hora. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

### 2.3.1 conteos manuales

Los conteos manuales son el método más común de toma de información del tránsito, consiste en asignar a una persona la tarea de registrar el paso vehicular. El método manual puede llegar a ser muy costoso ya que emplea mano de obra, pero es de gran utilidad cuando es requerida una clasificación separada de tipos de vehículo o movimientos direccionales en el caso de intersecciones específicas. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

La Figura 1 ilustra una toma de información manual registrada en la ciudad de Bogotá D.C.

Dentro de las ventajas de este método se encuentra la obtención detallada de (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1998):

- La clasificación vehicular (autos, buses según modalidad de transporte, motos, bicicletas y camiones por tamaño, peso y número de ejes).
- Los movimientos direccionales en una intersección o en un acceso.
- La dirección de recorridos.
- El uso de carriles y/o longitud de colas.
- La obediencia a los dispositivos para el control del tránsito.

**Figura 1** Conteos manuales en Bogotá D.C.



Fuente: Fotografía tomada por Raúl Pineda

### 2.3.2 Conteos automáticos

La detección de la presencia de vehículos o la ocupación de la vía, son variables que se han venido registrando tradicionalmente con dispositivos ubicados cerca o sobre la capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimento. No obstante, la aparición de nuevas tecnologías como la detección de laser o la detección electromagnética, se han venido incursionando en los conteos automáticos, debido a que registran información mediante una forma no intrusiva en la vía, pues se ubican a un lado o a una altura considerable del pavimento. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

Algunos de los principales equipos desarrollados son (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005):

- **Alice (Automated Length Indication and Classification Equipment):** Son equipos automatizados de clasificación e indicación de longitud vehicular, desarrollados por el Laboratorio de Investigaciones de Carreteras y Transporte de la Gran Bretaña (TRRL).
- **ATR (Automatic Traffic Recorder). Registro Automático del Tránsito:** Son equipos para estaciones de aforo continuo para realizar conteos y registros de volúmenes de tránsito durante las 24 horas del día, 365 días al año, año tras año.
- **AVC (Automatic Vehicle Classifier). Clasificación Automática de Vehículos:** Son equipos capaces de identificar y registrar los datos de los diferentes tipos de vehículos, pueden ser portátiles o instalarse permanentemente en el sitio para la operación continua.
- **AVI (Automated Vehicle Identification). Identificación Automatizada de Vehículos:** Son equipos capaces de identificar vehículos específicos, basados en la placa o número de identificación o un símbolo único de cada vehículo. Se han desarrollado equipos de identificación automática de vehículos que utilizan sensores ubicados en la estructura del pavimento, que son unidades al lado de la carretera para leer un dispositivo electrónico capaz de retornar una señal de identificación a un transmisor / receptor, llamado transponder. Este sistema suministra una identificación única y la información suficiente, tanto a los operadores de camiones como a los propietarios y autoridades para hacer un monitoreo automatizado de la ubicación, fecha y hora, dirección del viaje, la velocidad, el origen y destino, el tiempo de viaje, horas de servicio, tiempos muertos y la distancia recorrida o vehículos/kilómetro.

Dentro de los conteos automáticos los detectores más utilizados son:

### **2.3.2.1 Tubos neumáticos:**

Los detectores neumáticos en carreteras se han utilizado desde 1920 para proporcionar conteos mecánicos de 24 horas y para períodos más largos. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005). Este tipo de conteo consiste en localizar tubos en la superficie de rodadura de la vía en donde se requiere realizar la recolección de información. A medida que los vehículos pasan por los tubos, la compresión resultante del peso del vehículo distribuido en sus ejes hace que el fluido al interior del tubo accione un aparato tradicional de conteo. En gran parte de los contadores, el registro de dos pulsaciones se contabiliza como el paso de un vehículo. Los dispositivos accionados que utilizan aire para esta labor pueden registrar vehículos a una distancia de hasta 30 metros. El volumen total para un período se determina anotando la hora y haciendo la lectura inicial cuando se instala el equipo y la hora y lectura final cuando se levanta. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

Estas máquinas son relativamente simples y baratas de operar y se usan mucho donde no se necesitan los datos por horas del día. Su popularidad en vías rurales para realizar conteos de ejes, caracterización de vehículos y medición de velocidades se ha expandido a nivel mundial. Muchos fabricantes han construido mecanismos y dispositivos que permiten reducir el peso, el volumen, el tiempo de instalación y la necesidad de los chequeos de campo de los equipos. También han logrado automatizar el registro de datos, la transmisión, el análisis, lo que ha permitido incrementar la flexibilidad de los horarios, el número de contadores de registros que se pueden transportar por una camioneta o furgón normal. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005)

Esta tecnología tiene un desgaste proporcional al tránsito promedio diario de la vía y requiere un procedimiento cuidadoso para su instalación, previo al inicio de la toma de información para que los datos registrados tengan el mínimo error aceptable. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004). Otra falla registrada es la pérdida completa de los datos utilizables, si el tubo está cortado o si ocurre cualquier otra disfunción antes de recogerlo. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005)

La Figura 2 muestra una imagen de los tubos neumáticos registrando vehículos en una vía rural.

Las principales **ventajas** del tubo neumático son (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005):

- Costo relativamente bajo;
- Traslado del equipo
- Facilidad para instalación y retiro por una persona con herramientas manuales (un martillo pesado y una barra de palanca para perforar y extraer los clavos).

Las **desventajas** son:

- Estado seco del interior y sellado permanente para evitar el ingreso de agua o humedad en el mecanismo de detección.
- Se presenta la dificultad y requiere tiempo alcanzar la combinación adecuada de la longitud del tubo con el ajuste del impulso para obtener los conteos precisos, puntualmente al momento de realizar conteos de altos volúmenes vehiculares a bajas velocidades o volúmenes bajos a altas velocidades, en especial de vías con varios carriles.
- Es difícil colocar los tubos cuando el tránsito es de tipología carga.
- Los tubos están propensos a rasgarse o soltarse cuando las llantas del vehículo se resbalan al pasar sobre ellos.
- Se puede generar un conteo errado pues la mayor parte de los tubos de carreteras cuentan ejes, un conteo es equivalente a dos impulsos, por lo que el paso de un vehículo de múltiples ejes puede ocasionar un conteo de dos o más vehículos;
- En volúmenes horarios mayores de mil vehículos, algunos impulsos son simultáneos o en bloque, de tal manera que no se cuentan algunos vehículos, y si el volumen se incrementa aumenta la subestimación del conteo.

- Para obtener estimaciones más precisas puede ser necesario realizar conteos manuales para obtener factores de corrección.

### **Figura 2 Tubos neumáticos registrando información en vía rural**



Fuente: Minnesota Department of Transportation

#### **2.3.2.2 Circuitos de inducción**

Los circuitos de inducción son un tipo de tecnología de detección que está conformada por un oscilador, atado a un cable, que a su vez permite a las señales pasar hasta el dispositivo de conteo vehicular. El contador es activado a medida que pasan los vehículos mediante la detección del cambio en el campo electromagnético una vez el vehículo atraviesa el circuito. Los circuitos de inducción son dispositivos económicos y no requieren un mantenimiento significativo respecto a otras tecnologías. Si bien un solo circuito es incapaz de registrar variables como la velocidad, la utilización de pares de circuitos permite ampliar la aplicabilidad a la medición de velocidad y longitud del vehículo (tipo del vehículo). En la práctica se ha visto que esta tecnología se ha utilizado con éxito en la medición de volúmenes vehiculares, longitud del vehículo, conteo de ejes, velocidad y peso de los vehículos. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

Mediante la utilización de series de circuitos de inducción, correctamente calibrados, se pueden derivar variables como la longitud del vehículo mediante el tiempo en el que el vehículo permanece sobre el primer circuito y el tiempo que permanece sobre los dos circuitos simultáneamente. El resultado es llamado longitud eléctrica del vehículo y usualmente es menor que la longitud real del vehículo. El sistema de circuitos de inducción se puede utilizar para medir cualquier nivel de flujo vehicular. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

La Figura 3 ilustra los circuitos de inducción instalados sobre una vía interestatal de 3 carriles por sentido.

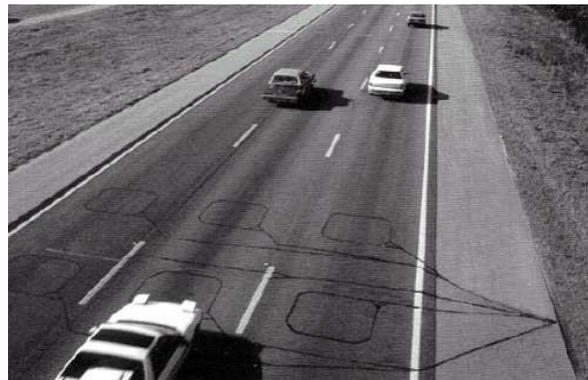
Las principales **ventajas** de los circuitos de inducción son (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005):

- Pueden utilizarse en la mayoría de los sitios de toma de información
- Son resistentes al vandalismo, pues por lo general son enterrados entre 2,5 y 5 centímetros debajo de la superficie del pavimento.
- Es uno de los sistemas permanentes más sencillos de instalar.
- A diferencia de los tubos neumáticos, que cuentan ejes, los lazos de inducción cuentan de manera consistente los vehículos en un amplio rango de tamaños, desde motocicletas hasta combinaciones de camiones;
- Con lazos apropiadamente localizados en cada carril, se minimizan la subestimación y la sobrestimación de los conteos, en comparación con los tubos neumáticos, aun para altos volúmenes y variaciones en la velocidad.

Las **desventajas** son (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005):

- Se requiere una ubicación e instalación cuidadosa y una sintonización frecuente para asegurar que el campo magnético responda al paso de los diferentes tipos de vehículos.
- Cuando se sintoniza para la detección de vehículos pequeños, como las motocicletas, se pueden registrar los camiones de los carriles adyacentes
- Se requiere el cierre del carril para la instalación.
- La falla del pavimento o una estructura subnormal usualmente causa la falla del lazo y las operaciones de conteo.

**Figura 3 Circuitos de inducción sobre una vía interestatal de 3 carriles por sentido.**



Fuente: Freeway Management and Operations Handbook Ch. 15

### 2.3.2.3 Sensores de “Peso-en-movimiento”

Este tipo de sensores y detectores son utilizados a nivel mundial con el fin de contar, pesar y clasificar vehículos en movimiento (WIM -Weigh-in-Motion- por sus siglas en inglés). Los sistemas de detección WIM más relevantes para el conteo son:

**Placas de flexión:** los cuales contienen medidores de flexión que pesan los ejes de los vehículos que pasan y envían señales eléctricas continuas a los medidores de deformación. Dichas señales cambian a medida que la deformación de la placa ocurre en diferente proporción debido al esfuerzo dinámico ejercido por el vehículo. (Ver Figura 4)

**Banda capacitiva:** consiste en una tira metálica puesta en superficie que detecta el paso de un eje vehicular. El esfuerzo vertical producido por el vehículo pasante, altera la capacitancia de la banda, la cual puede ser convertida a una medida de peso de eje cuando se relaciona con la velocidad del vehículo. Ésta tecnología puede ser utilizada tanto para la medición de ejes como para análisis estadísticos. (Ver Figura 4)

**Tapete capacitivo:** Su funcionamiento es similar a la banda, pero es diseñada para ser móvil y de uso temporal.

**Cable eléctrico:** Es una banda sensible de un cable metálico que produce un voltaje y responde ante la acción de un vehículo. Funciona de manera parecida a los cables neumáticos, pero en vez de un fluido utiliza un voltaje para accionar el dispositivo contador de ejes. Es muy eficiente para la medición de velocidad y el paso de ejes. Ésta tecnología es relativamente económica y necesita poco mantenimiento. (Ver Figura 4) (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

#### Figura 4 Sensores de “Peso en Movimiento”

Placas de flexión en peaje



Fuente: International Road Dynamics

Banda capacitiva



Fuente: Botswana Roads Department

Instalación de cable eléctrico



Fuente: Metro Count

#### **2.3.2.4 Detectores tipo radar**

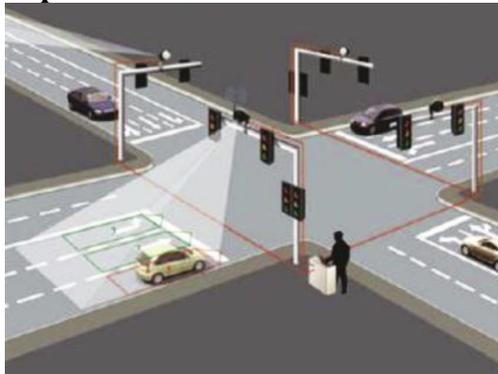
Los detectores de tipo radar emiten continuamente ondas de radio a frecuencias ultra altas (100 MHz – 100 GHz) y determinan la posición y velocidad de los vehículos dependiendo de las señales de respuesta reflejadas por éstos. Ésta tecnología capta información para más de un carril a la vez y puede ser utilizada en intersecciones dependiendo de su alcance. Una de sus principales **ventajas** es la resistencia ante la acción del clima y el poder funcionar en condiciones de poca luz, para ser utilizados en el día y la noche. Sin embargo, el procesamiento de la información registrada requiere de equipos de cómputo con bastante capacidad para analizar la calidad de la señal. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

#### **2.3.2.5 Cámaras de video**

Son sistemas conformados por detectores mecánicos de visión que permiten registrar el paso de vehículos y enfocarse en un determinado tipo de vehículo cuando sea necesario. Usualmente, una misma cámara puede monitorear de manera simultánea varios carriles al mismo tiempo, sin embargo, para el procesamiento de la información primaria, se hace necesaria la utilización de equipos de cómputo. Una vez registrada la información en campo, mediante la aplicación de un software especializado se logra depurar la información para el análisis. Éste tipo de tecnología es recomendable para conteos vehiculares pero no lo es para medición de velocidades o clasificación vehicular debido a la complejidad de las imágenes y la multiplicidad el procesamiento. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

La Figura 5 ilustra una representación de una intersección semaforizada monitoreada por cámaras de video

**Figura 5 Cámara de video por acceso en intersección semaforizada.**



Fuente: SUTEC Perú

## 2.4 Estacionamientos

Los estacionamientos son áreas destinadas específicamente para ubicar un vehículo de manera segura y con el menor impacto posible. Usualmente los estacionamientos se pueden clasificar según su carácter en públicos y privados. Por un lado, los parqueaderos públicos se localizan usualmente en zonas de interés comercial dando la facilidad a los usuarios para dejar su vehículo mientras realizan sus compras. Adicional a esto, existe el estacionamiento en vía pública que es considerado un parqueadero de carácter público. Por otro lado, los parqueaderos privados pertenecen a empresas o personas que utilizan el parqueadero como parte de su propiedad o para dar la facilidad de estacionamiento a sus empleados. (Universidad de Sonora, 2000)

Dicho lo anterior, la necesidad de conocer a fondo la operación de los estacionamientos nace con el fin de establecer de una manera precisa la demanda actual y futura de estacionamiento; es decir, evaluar la oferta actual contra la demanda.

Existen diversos efectos derivados principalmente del estacionamiento en vía pública, pues ocasiona la reducción de la capacidad vial mediante la limitación, en algunos segmentos, del carril que se utiliza para estacionar. La reducción de la capacidad vial ocasiona problemas de congestión que en teoría deben ser resueltos mediante la infraestructura actual disponible, sin embargo, debido al uso que se les da a ciertos tramos de vía la capacidad se limita. Adicionalmente, los vehículos que realizan maniobras de aparcamiento necesitan un cierto tiempo para realizar la acción, bloqueando el carril inmediatamente adyacente por un momento. (Universidad de Sonora, 2000)

### 2.4.1 Oferta y demanda

Con el objetivo de mejorar la operación de los estacionamientos es necesario evaluar de manera conjunta las variables básicas de oferta y demanda. Por una parte, la demanda de estacionamientos se puede estimar mediante diferentes estudios e inventarios. Por otra parte, la oferta de estacionamientos se debe analizar con un conteo de cupos y una revisión a la planta física y a las posibilidades de ampliación del cupo mediante nuevas tecnologías.

La demanda representa la localización de los estacionamientos, el tiempo promedio de uso del cupo y su variación horaria a lo largo del día. Es decir, el número de vehículos que desea estacionarse por un determinado tiempo y para la realización de un objetivo específico. Tradicionalmente, la estimación de la demanda se ha venido realizando mediante una serie de observadores estratégicamente localizados, cada uno de los cuales, recorre un conjunto de tramos revisando e inventariando periódicamente los vehículos estacionados, registra entonces la hora de llegada y salida. Este tipo de estudios se debe realizar durante varios días para establecer el uso estático y el uso dinámico de usuarios. (Universidad de Sonora, 2000)

La demanda de estacionamientos se puede a su vez subdividir en cuatro tipos de demanda diferentes. La verdadera demanda no es la captada por el uso de espacio disponible ya que el volumen global de vehículos que la componen son la suma de: vehículos que han encontrado estacionamiento, vehículos que no han encontrado estacionamiento y circulan por la red, vehículos estacionados ilegalmente, y finalmente los vehículos que permanecen detenidos debido a la dificultad de encontrar un espacio disponible para estacionar.

De manera práctica la demanda total de estacionamientos es igual a:

### **Ecuación 1 Demanda de estacionamientos**

$$D_t = D_0 + D_i + D_e + D_p$$

*Fuente:* (Universidad de Sonora, 2000)

Dónde:

- Demanda básica ( $D_0$ ): que incluye los vehículos estacionados más los vehículos maniobrando para estacionarse.
- Demanda ilegal ( $D_i$ ): que incluye los vehículos estacionados ilegalmente.
- Demanda excedente ( $D_e$ ): corresponde a los vehículos que buscan estacionamiento sin encontrarlo inmediatamente.
- Demanda potencial ( $D_p$ ): vehículos que no se encuentran en el área de estacionamiento debido a que creen que no hay cupos.

## **2.4.2 Estudios de estacionamientos**

Mediante los diversos estudios que pretenden caracterizar la operación de los estacionamientos se encuentran dos tipos básicos, aquellos que desean evaluar la demanda y aquellos que desean evaluar la oferta. (Universidad de Sonora, 2000)

### **2.4.2.1 Evaluación de la oferta**

En cuanto a aquellos que buscan una aproximación a las condiciones de la oferta se destaca el inventario de estacionamientos. El inventario de estacionamientos es una recopilación de información acerca de la ubicación geográfica, la capacidad en área y el tipo de estacionamiento (carga, discapacidad, transporte público individual, vehículo privado, motocicleta, bicicleta u otro).

La información básica que debe recopilarse de la oferta mediante un inventario de estacionamientos es (Universidad de Sonora, 2000):

- Capacidad: entendida como el número de espacios para aparcamiento por tipo de vehículo.
- Límites de tiempo y horas de operación.
- Tarifa y método de cobro.
- Tipo de estacionamiento: a cielo abierto, cubierto o subterráneo.
- Ángulo de parqueo: paralelo, espina de pescado o perpendicular al flujo vehicular.

Los inventarios de estacionamiento son el primer insumo para caracterizar la operación; ningún estudio de demanda debería ser realizado, sin primero haber realizado un levantamiento acorde del inventario de estacionamientos.

### **2.4.3 Evaluación de la demanda**

La evaluación de la demanda se realiza mediante estudios en campo que buscan conocer las tendencias en los comportamientos de los usuarios a lo largo del día o en un periodo de tiempo específico que usualmente es la hora de máxima demanda.

#### **2.4.3.1 Generación y acumulación**

Los estudios de generación y acumulación son de vital importancia en el proceso de mejorar las condiciones de parqueo en vía pública. Usualmente son realizados en lugares que atraen un gran número de usuarios en periodos cortos, lo cual, obstaculiza la vía y evidencia la necesidad de organizar los estacionamientos.

El objetivo de este estudio es identificar los lugares donde los vehículos hacen un uso ineficiente del espacio para estacionar, es decir, aquellos lugares donde el tiempo de parqueo es muy alto. Mediante este estudio se puede evidenciar la necesidad de aumentar o disminuir el tiempo máximo de estacionamiento permitido; la necesidad de implementar un control policiaco del estacionamiento; así como también permite establecer las zonas potencialmente peligrosas de estacionamiento.

#### **2.4.3.2 Número de placas**

El registro de placas se realiza con el objetivo de obtener información más detallada sobre la utilización de estacionamientos en vía pública. El propósito principal del estudio es determinar el índice de rotación definido así:

#### **Ecuación 2 Índice de rotación de estacionamientos**

$$R = \frac{E}{C}$$

*Fuente:* (Universidad de Sonora, 2000)

Dónde:

- E es el número de vehículos estacionados en un determinado periodo de tiempo y
- C es la capacidad total del estacionamiento en número de vehículos.

Mediante el registro de las placas se obtienen datos de tiempo de duración, ocupación, estacionamiento ilegal, entre otros. Tradicionalmente, el estudio de placas se realiza de manera manual, lo que lo convierte en un estudio relativamente costoso. A cada persona se le asigna un determinado número de plazas de parqueo para que periódicamente lleve

el registro de las placas que se encuentran estacionadas en cada plaza. (Universidad de Sonora, 2000)

#### 2.4.4 Estudios para la caracterización de estacionamientos

Con base en la revisión literaria sobre los diferentes estudios de tránsito y sus respectivos enfoques metodológicos, mediante los documentos recopilados en el análisis cuantitativo (Ver numeral 2.1 Análisis cuantitativo), se presentan a continuación algunos enfoques acerca de la caracterización precisa de las diferentes variables de oferta y demanda de los estacionamientos:

- **Goyal, S. (1978) Monteiro, L. (1983) y Donoso, I. (1984)** orientan sus estudios al análisis de zonas de estacionamiento cerradas, específicamente en campus universitarios. El enfoque de estos autores busca resolver un problema de optimización, es decir, disminuir la distancia total de caminata de los usuarios desde el lugar de estacionamiento hasta su destino.
- **Rayman, N. (1981) y Gercans, R. (1984)** analizan la influencia de sistemas de información geográfica dinámicos y multivariados, que permiten a los usuarios conocer las zonas donde se presenta disponibilidad de estacionamiento en tiempo real, minimizando las consecuencias de la demanda excedente y el tiempo de búsqueda de parqueadero.
- **Codd, J. (1983)**, intenta predecir las necesidades de estacionamientos en grandes centros comerciales, a partir de modelos de generación relacionados con las características de los usuarios (tasa de motorización, nivel de ingreso, entre otros).
- **Gant voort. J. Th. (1984)** realiza un estudio para determinar los impactos positivos y negativos para la movilidad debido a la clausura de cupos de aparcamiento.
- **Bunster, J. (1987)** desarrolla una metodología para evaluar la necesidad de aumentar la oferta de estacionamientos en áreas urbanas, mediante el uso de una matriz de entradas y salidas de la misma área urbana.
- **Santana, A. (1989)** propone un método de predicción del uso de espacios disponibles en un área cerrada, en función del tiempo de duración promedio del estacionamiento.

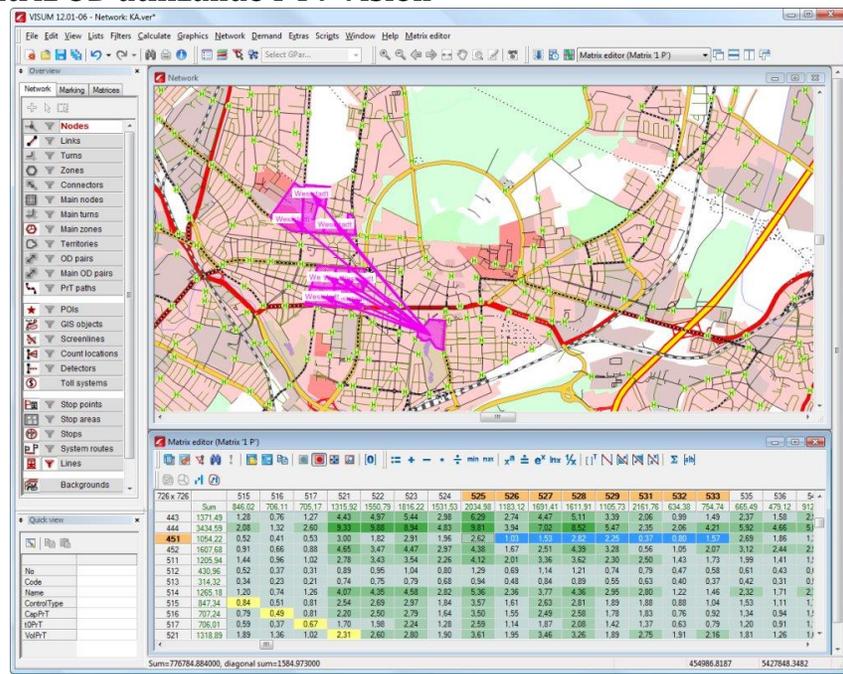
Lo anterior, claramente refleja la necesidad de información precisa en términos de la oferta y la demanda de estacionamientos. Entre las dos variables de estacionamientos la que presenta mayor grado de dificultad para ser caracterizada en campo es la demanda, en especial en zonas abiertas donde se tiene una red con varias entradas y salidas, razón por la cual la aplicación de métodos automáticos de detección y evaluación de la operación de los estacionamientos es necesaria.

## 2.5 Matrices Origen-Destino

Los estudios de origen destino tienen como objetivo la caracterización de la cantidad y el tipo de viajes realizados al interior de un área delimitada agrupando los viajes de la zona desde puntos de origen y puntos de destino.

El producto final de los estudios de origen-destino es una matriz cuyos vectores de identificación son los nodos de origen y destino. En transporte, existen múltiples niveles de evaluación desde intersecciones simples hasta el análisis del transporte a nivel de ciudad, así como el análisis de origen-destino para vehículos de carga y vehículos de transporte de pasajeros. (Bocanegra López, 2005)

Figura 6 Matriz OD utilizando PTV Vision



Fuente: PTV group.

La utilidad de las matrices de origen-destino se vincula al proceso tradicional de planeación del transporte que consta de cuatro grandes pasos.

- **Generación / Atracción:** Es el proceso mediante el cual se cuantifican los viajes (producidos o atraídos) realizados por las personas que residen o transitan por una determinada área urbana relacionando los vehículos utilizados para los desplazamientos.
- **Distribución:** Es el proceso mediante el cual se determinan las zonas de origen y destino de los viajes realizados al interior de una determinada área, es decir, la producción y atracción de cada zona.

- **División modal:** Determina el porcentaje de usuarios que utiliza cada uno de los modos de transporte disponibles para la realización de los diferentes viajes entre las zonas de origen y destino.
- **Asignación:** Es la etapa final del proceso de planeación del transporte en donde se utiliza un método de equilibrio de red con el fin de determinar los flujos vehiculares al interior de las diferentes conexiones de la red. Este proceso tiene en cuenta el proceso de selección de ruta por parte de los usuarios y permite evidenciar sitios críticos que se pueden intervenir para mejorar la movilidad. (Bocanegra López, 2005)

### 2.5.1 Estudios para la caracterización de Matrices O-D

Existen diversas formas de caracterizar una red urbana con sus respectivos orígenes y destinos. Dentro de los métodos más completos se tiene la descripción de los viajes para una muestra de la población objetivo que informe sobre sus hábitos de viaje en un día típico.

En cuanto a matrices de O-D en intersecciones puntuales o en redes cerradas (Por ejemplo en Campus Universitarios) se han venido trabajando diferentes métodos de aforo (Bocanegra López, 2005):

- **Registro de placas:** Se realiza en campo de manera manual mediante el registro en grabadoras o en formatos de papel, y de manera automática mediante cámaras estratégicamente localizadas que permiten identificar el vehículo entrante y saliente.
- **Entrevista a un lado o método del aforo vehicular:** en éste estudio los usuarios de los diferentes modos de transporte son detenidos y se les pregunta sobre el origen, destino y motivo del viaje que se encuentra realizando. Para la utilización de este método es de vital importancia contar con el apoyo de la autoridad de tránsito local.
- **Etiquetas en el vehículo:** Es un método no invasivo que consta de asignar a cada vehículo una etiqueta o tarjeta codificada que se lee en las entradas y salidas de la zona de estudio. En la lectura se toma la información de la hora, localización, origen, destino y tipo de vehículo. Este tipo de métodos son muy útiles cuando el volumen vehicular es muy elevado.
- **Tarjetas postales al conductor:** Previo al ingreso de los usuarios a la zona de estudio, se les entrega una tarjeta con las preguntas de rigor para caracterizar sus viajes diarios. Se les solicita a los conductores enviar las respuestas vía correo.
- **Cuestionario a población objetivo (censo):** Cuando el estudio es dirigido específicamente a un centro generador y atractor de viajes (Por ejemplo empresas, colegios, universidades, entre otros), se realiza un censo a la población objetivo donde se cuenta con un formulario que recolecta la información de

residencia, lugar de destino, hora de llegada y salida, costos de estacionamiento y tiempo total de viaje.

- **Ascenso y descenso (transporte público):** Este tipo de estudio se enfoca en una determinada ruta con el fin de evaluar la demanda a lo largo de la jornada y la posible optimización de la ruta. Cuando se cuenta con el permiso de las autoridades se pueden distribuir también formularios entre los usuarios de la ruta al ingreso del vehículo.
- **Aforos vehiculares:** Conforme las redes de transporte se hacen más grande y complejas es necesario no solo caracterizar los orígenes y destinos sino además establecer puntos de control al interior de la red donde se evalúa el paso real de vehículos, es decir, establecer puntos de registro de información de volúmenes vehiculares, frecuencias y ocupación visual de transporte público colectivo y transporte público individual (taxi) que permita calibrar el modelo de asignación de viajes.
- **GPS (Sistema de Posicionamiento Global):** Mediante los diferentes dispositivos de recopilación de información que disponen los vehículos y los usuarios, tales como, navegadores, teléfonos móviles y GPS integrados se crea una base de datos georreferenciada con información acerca de las condiciones de operación, la ruta seleccionada, demoras promedio por cada ruta, velocidades de operación y demás datos de operación que permiten establecer, mediante un análisis de ingeniería de tránsito, la demanda en cada corredor que se registre información. Cabe resaltar que un estudio de este tipo debe estar acompañado por un estudio especializado en el caso del transporte público al contar, en algunos casos, con vías exclusivas para su circulación.

## **3 Etiquetas RFID en estudios de Transito y Transporte.**

De acuerdo con la información recopilada en la consulta para la construcción del estado del arte (2.1.3 Construcción y ejecución de la consulta), se realizaron búsquedas con base en los términos relacionados con la identificación por radio frecuencia (RFID), con el fin de analizar su uso en la detección de vehículos para estudios de tránsito y transporte.

De acuerdo con la información recopilada, se presenta a continuación la revisión literaria del uso de la tecnología.

### **3.1 Análisis de la Identificación por Radio Frecuencia (RFID).**

La identificación por radio frecuencia tuvo su origen durante la Segunda Guerra Mundial, en donde era necesario determinar si los combatientes eran aliados o enemigos, de esta forma el sistema facilitaba la identificación automática mediante la combinación de Tags (etiquetas) y lectores. (Nambiar, 2009)

Hoy en día el sistema RFID ha sido exitosamente aplicado en las áreas de agricultura, cadenas de suministro, manufacturación, logística, transporte, salud y servicios. Es así como la investigación en el área ha ido creciendo rápidamente y se puede evidenciar al revisar el número de artículos en el área que han sido publicados en los últimos años; solo para esta investigación se encontraron alrededor de 7800 artículos (Ver Tabla 3 Resumen de búsqueda por fuente de información).

#### **3.1.1 Tecnología RFID**

Un sistema típico de RFID se compone de Tags (etiquetas) y lectores, un software o aplicativo que permita ver la información, un sistema de cómputo dentro del hardware y un sistema de transmisión de datos. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008)

La tecnología se puede dividir en las siguientes categorías, con el fin de entender su funcionamiento:

##### **3.1.1.1 Etiquetas (Tags) y Antenas**

Una etiqueta RFID consiste en un circuito integrado que posee una memoria, que es esencialmente un chip microprocesador. Las etiquetas pueden ser activas (con baterías o

energía) o pasivas (sin baterías) y poseen un número de identificación que puede ser emitido a un lector que opera en la misma frecuencia y bajo el mismo protocolo que el Tag.

Por otro lado, la antena es el conducto de comunicación de la información entre el Tag y el lector. Una antena RFID tiene un rango de lectura lateral y frontal; su diseño y el lugar en el que sea instalada, tienen un papel determinante frente a la zona de cobertura, el rango y la exactitud de recepción de la información contenida en el Tag, debido a que la antena envía energía desde el lector hacia el Tag, permitiendo recibir la información contenida en él. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008).

### ***3.1.1.2 Lector***

Un lector RFID es un dispositivo que puede leer la información contenida en un Tag compatible con la tecnología. La comunicación entre un Tag y un Lector permite que la información contenida en una etiqueta pueda ser guardada y transferida a un servidor mediante un computador, para que el movimiento de un elemento que posee la etiqueta sea registrado

Para garantizar comunicación entre los dos elementos, es necesario que sean compatibles, es decir, que trabajen en la misma frecuencia y cumplan con regulaciones y protocolos iguales.

Existen cuatro tipos de lectores: Manuales, Instalados en un vehículo, estáticos e híbridos. Los tres primeros pueden leer etiquetas activas o pasivas según su configuración, pero los híbridos pueden cambiar entre los modos activo y pasivo. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008).

### ***3.1.1.3 Plataforma de Comunicación***

La plataforma o infraestructura de comunicación puede ser alámbrica o inalámbrica y contiene una serie de comandos de transferencia de información para determinar los datos guardados en el lector, contenido en un tag. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008).

Por lo general esta plataforma de información estaba basada en un sistema wireless que permite transferir los datos a la “nube”, para procesar y acceder a ellos.

## **3.1.2 Aplicaciones de RFID**

El sistema RFID, como se ha venido mencionando, ha sido aplicado con éxito en áreas de logística, cadenas de suministro y manufacturas, sin embargo hay un rango de aplicaciones aún más amplio. El potencial de la tecnología ha hecho que incrementemente el uso de esta en numerosas compañías, las cuales han iniciado pruebas piloto que han culminado con éxito en circunstancias de uso diario. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008)

Varios autores coinciden en que la tecnología RFID puede ser la que mayor crecimiento tenga en términos de alcance para la próxima generación que implemente los “negocios inteligentes” (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008), y ha sido llamada a ser una de las grandes contribuciones del siglo XXI. (Nambiar, 2009)

De acuerdo con la literatura encontrada, a continuación se enuncian áreas en las que la tecnología ha sido implementada:

- Detección de animales
- Aviación
- Construcción de edificaciones
- Manejo de materiales de construcción
- Procesos de fabricación de vestuario
- Control de salubridad en alimentos
- Salud
- Servicios de bibliotecas Logística y control de la cadena de suministro
- Minería
- Control de residuos en Ciudades y Municipios
- Museos
- Ventas al por menor.

Adicional a esto se encontró que las Bibliotecas y ventas al por menor, son las aplicaciones que mayor número de publicaciones tienen. En las bibliotecas, la tecnología RFID ha sido utilizada para los sistemas de registros, para el control de robos, para inventarios, transporte y traslado de libros y materiales audiovisuales; así mismo se manifiesta que contribuye al ahorro de costos, mejora del servicio, reducir la incidencia de robos y mejora el servicio al cliente. (Kern, 2004)

De igual forma, muchos de los artículos encontrados están relacionados con las ventas al por menor y en la mayoría de los casos proporcionan una vista general del uso de la tecnología en la cadena de suministro, de su potencial, beneficios, efectos, retos, posibles reacciones de los clientes y el impulso que han tenido las ventas de la tecnología para su uso en la venta de la cadena de suministro de alimentos. (Eckfeldt, 2005)

En el área de la salud, RFID ha sido utilizado para monitorear, a través de sistemas inalámbricos, las pulsaciones por minuto del corazón para pacientes cardiacos, la identificación de pacientes que necesitan cirugías, la localización de medicamentos que han excedido su vida útil y la duración de retenedores dentales. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008)

En el caso de la robótica, se encontró un artículo que menciona el uso de RFID para ayudar a los robots móviles a identificar elementos a su alrededor, con el fin de facilitar su localización y desplazamiento. (Kim & Chong., 2009)

Por otro lado, se encontraron artículos en donde se evidencia que los sensores RFID mejoran el rendimiento en la instalación de sistemas eléctricos (Ko, 2009), y se propone un sistema de gestión de información con transmisión inalámbrica de RFID para monitorear el proceso de ensamble de misiles. (Lin, Hung, & Ding-Rong, 2009)

Para la aplicación en el área de la construcción, se encontró un artículo que combina el uso de GPS (sistema de posicionamiento global) con Tags RFID con el fin de monitorear los materiales que ingresan en una construcción. Debido a que elementos como el acero o las tuberías estructurales representan una parte significativa de los gastos en un proyecto de construcción, un sistema de recolección de datos de bajo costo, acelera el proceso de seguimiento de estos materiales y ayuda a localizarlos rápidamente dentro de la construcción. (Torrent & Caldas., 2009)

Finalmente se encontraron artículos relacionados con el uso de la tecnología en estacionamientos, transporte y sistemas de control de tráfico

### **3.2 Aplicación de RFID en estudios de Tránsito y Transporte**

De acuerdo con la literatura estudiada, se describen a continuación campos del tránsito y transporte donde se plantea la implementación de la tecnología RFID.

#### **3.2.1 Dispositivos de control de tráfico**

El instituto Nacional de Tecnología Durgapur en India, plantea mediante una investigación, la arquitectura de un sistema inteligente de control de tráfico para una intersección típica, con una vía amplia en dirección Este - Oeste y una vía angosta en dirección Norte - Sur. El sistema propuesto está compuesto por dos lectores RFID en cada dirección de circulación, separados por el cruce y contiene un computador central que controla todos los lectores.

En el momento que un vehículo cruza frente a un lector, es registrado mediante el Tag instalado en él, el cual devuelve el código electrónico del producto, que consiste en el número de identificación del vehículo VIN (Este número es estándar en la industria de los vehículos y único para cada automóvil). Al ser identificado el VIN, es consultado en una base de datos que contiene información detallada de cada vehículo, como el tipo, peso, longitud, registro, gases emitidos, papeles en regla y la identificación del propietario.

En el sistema propuesto, los datos obtenidos son enviados al computador central vía inalámbrica o alámbrica, dependiendo de la ubicación de los lectores. Este computador contiene un sistema de procesamiento (CDPS) que analiza la información y toma decisiones respecto al plan de señales de la intersección semaforizada

El CDPS, se compone de dos partes: Una base de datos dinámica en donde se almacena temporalmente la información de los vehículos que circulan en tiempo real y una base de datos permanente que guarda los registros de todos los vehículos que hayan cruzado la intersección.

La base de datos dinámica está dividida en varias partes. Esta organiza los datos del registro único del vehículo (VIN) de acuerdo con su sentido de circulación. Sin importar la dirección del vehículo –hacia o desde la intersección- los dos lectores en su camino lo detectan y envían la información al computador central con un intervalo de tiempo, el orden de respuesta de los dos lectores determina la dirección del viaje del vehículo.

Constantemente, el sistema de procesamiento revisa los datos contenidos en las diferentes partes de la base dinámica y cuenta el volumen del tráfico vehicular para todos los ramales de la intersección, esta información se envía al centro de toma de decisiones que opera el semáforo, el cual mantiene el mayor tiempo de verde para la dirección que tenga mayor flujo.

Adicional a esto, el volumen de tráfico no es calculado únicamente mediante el número de vehículos que atraviesan la intersección, sino por un complejo sistema de ecuaciones que tiene en cuenta factores predefinidos como:

- El tipo de vehículo.
- Prioridad asignada al tipo de vehículo (dependiendo del tamaño, frecuencia y hora del día)
- Prioridad asignada a la dirección del viaje (esto principalmente para intersecciones cuyas vías no tienen el mismo nivel de prioridad)
- Tiempo (es decir hora del día y día de la semana)

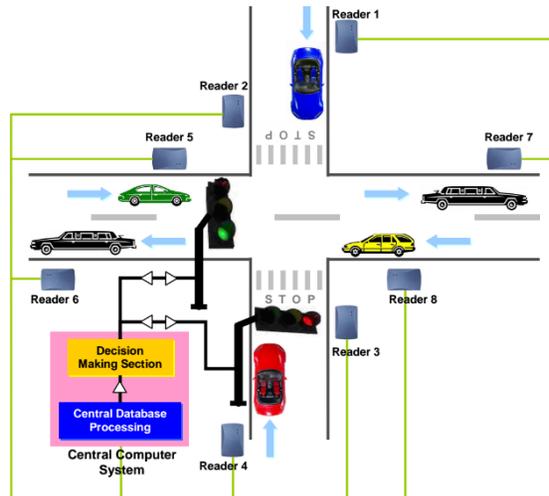
En el momento en el que el vehículo a travesado la intersección y ha salido del rango de los radares, su información es movida de la tabla dinámica a la tabla permanente en donde se guarda junto con su trayecto, ramal de llegada, ramal de salida y tiempo.

En cuanto al centro de toma de decisiones, este contiene un algoritmo que determina cómo debe operar el plan de señales. Este sistema actúa teniendo en cuenta los siguientes factores:

- El volumen de tráfico enviado por el computador central
- Debido a que la fluctuación del volumen vehicular puede variar a gran velocidad, no es posible alterar las señales de tráfico solo con este factor, por lo cual se establece un tiempo mínimo en el cual se mantiene un plan de señales y se comprueba nuevamente el volumen vehicular.
- Un máximo de tiempo en rojo independiente del flujo vehicular, esto con el fin de garantizar que ningún vehículo tenga un tiempo de espera muy largo dentro de la intersección.

- Se incorporan al sistema algunas externalidades como accidentes de tráfico o fallas en el sistema. Una señal de emergencia alerta este tipo de situaciones con el fin de que sea solucionada mediante intervención humana.

**Figura 7 Representación esquemática de la intersección semaforizada utilizando la tecnología RFID**



Fuente: Intelligent Traffic Control System using RFID (Chattaraj, Bansal, & Chandra).

Finalmente, la investigación concluye que la tecnología RFID puede ser utilizada para controlar el tráfico en intersecciones semaforizadas, mencionando ventajas como toma de decisiones en tiempo real, mejoras en la movilidad y la seguridad y un sistema completamente automatizado reduciendo costos de intervenciones humanas. (Chattaraj, Bansal, & Chandra)

### 3.2.2 Gestión de estacionamientos

El departamento de ingeniería eléctrica y de sistemas de la facultad de ingeniería de la Universidad Internacional Islámica de Malasia (IIUM), realizó una investigación en la cual describe el uso de dos sistemas que buscan mejorar la gestión de estacionamientos. La primera utiliza Tag's pasivos de RFID y la segunda utiliza un sistema de cámaras que identifica la placa del vehículo.

Esta investigación se realizó dentro del campus de la Universidad, ubicado en Gombak , con el fin de evaluar los efectos del uso de estos sistemas en el flujo vehicular dentro del campus, utilizando el simulador de Tráfico denominado "Arena". (Mokhaled M. Mohammed, 2011).

Una de las problemáticas identificadas en la Universidad, es debido a que los miembros del campus y los visitantes, deben ser identificados por el personal de seguridad en la entrada y solo puede ser procesado un vehículo a la vez, lo que genera un "cuello de botella" a la entrada del campus. De esta manera se intenta resolver el problema,

mediante la identificación automática de los vehículos de los miembros de la universidad unos metros antes de la entrada del campus. Los vehículos restantes, son considerados como visitantes y se direccionan en una línea separada donde deben registrarse. De esta forma se crean dos líneas de acceso, una para visitantes y otra para miembros.

La arquitectura propuesta contempla el uso de Tag's pasivos de RFID distribuidos a los poseedores de vehículos que hacen parte del lugar en donde se quiere implementar la tecnología, que para el caso es el campus de la Universidad IIUM. La tecnología RFID contribuye a la descongestión del tráfico en las entradas y acelera el registro de los visitantes removiendo el cuello de botella en la entrada del estacionamiento.

Otra problemática registrada en este país, es el uso de elementos, en las llantas de los vehículos, para que estos sean inmovilizados cuando cometen infracciones (también conocidas como wheel clamp o vehicle clamping) pues estas técnicas fueron declaradas ilegales. Por tal razón, se propone que la tecnología RFID reemplace este sistema mediante la detección de los vehículos infractores, al salir de las áreas de estacionamiento. De igual forma corrobora en la detección de infractores dentro de los estacionamientos, como por ejemplo las personas que ubican sus vehículos en lugares para personas con discapacidad o en lugares oficiales.

Por otro lado el sistema que utiliza cámaras se encuentra atado a un procesamiento de imagen que puede identificar el número de identificación o placa del vehículo que ingresa. Después de esto, se genera un listado de vehículos activos en el área de estacionamiento, clasificando entre visitante o miembro.

Si el personal de seguridad detecta algún vehículo que este infringiendo las normas del estacionamiento, el número de placa del vehículo es enviado al centro de control. Este número de placa, junto con los detalles del vehículo, es enviado a un listado de infractores. Cuando un vehículo intenta salir del estacionamiento, una cámara adicional le toma una foto para consultar si su placa se encuentra en la lista de infractores; de ser así una alarma se activa con el fin de advertir al sistema de seguridad.

Adicional a esto, el estudio propone una simulación que pretende estimar las demoras, debido a la inspección del sistema de seguridad que se le realiza a los vehículos entrantes, con el objetivo de clasificarlos entre visitantes o miembros, en el momento en que éstos ingresan al campus de la Universidad IIUM. De igual forma, la simulación compara los sistemas de gestión de estacionamientos con RFID y Cámaras de video.

Los resultados generales concluyeron que los tiempos de espera de los visitantes para el ingreso al campus disminuyeron satisfactoriamente con el uso de las tecnologías, al igual que las colas de la fila de visitantes. Sin embargo el tiempo de espera de los visitantes, aumentó. (Mokhaled M. Mohammed, 2011)

### 3.2.3 Sistemas de Transporte – Buses

La Universidad de Southwest Jiaotong en China, mediante su departamento de Transporte y Logística, desarrolló un estudio que propone un algoritmo que predice el tiempo real de viaje de un bus, mediante el uso de la tecnología RFID y un sistema de GPS. (Xinghao, Jinga, Guojun, & Qichong, 2013)

El estudio tiene como finalidad desarrollar un algoritmo adaptable para predecir la velocidad de funcionamiento de una ruta de transporte operada por buses, con base en la velocidad de operación de taxis y autobuses. Esta investigación propone un modelo de predicción del tiempo de recorrido de un bus, en el cual se consideran los retrasos producidos por las intersecciones semaforicas, la aceleración y desaceleración.

Con el desarrollo de los Sistemas Inteligentes de Transporte, los sistemas de posicionamiento global han sido implementados en los sistemas de transporte alrededor del mundo. En China, todas las empresas de transporte en las áreas metropolitanas, han implementado estos sistemas de rastreo vehicular automatizado mediante GPS. En Shanghai a más de dieciocho mil (18,000) buses se les ha implementado esta tecnología. Lo que esto permite es obtener un esquema de modelación para estimar el tiempo de viaje de los vehículos mediante las bases de datos históricas, modelos de regresión y modelos de red neuronal, entre otros. (Xinghao, Jinga, Guojun, & Qichong, 2013)

Sin embargo, la baja frecuencia de muestreo de los sistemas de transito operados por buses, impide predecir de manera efectiva el tiempo de viaje de un autobús, debido a la falta de datos de localización en tiempo real, durante el periodo de predicción. (Xinghao, Jinga, Guojun, & Qichong, 2013) Adicional a esto la exactitud del sistema de GPS, tiene afectación en su predicción debido a que edificios altos pueden bloquear la señal en los centros de las ciudades.

Por otro lado, en la zona urbana de la ciudad de Shanghai – en el mediano plazo- se tiene previsto implementar en todos los vehículos, incluyendo buses y taxis, la tecnología RFID, sistema que alimentaría los datos que ya se recogen mediante el GPS con el fin de mejorar el tiempo de llegada de los buses a sus paradas (puntualidad) y la exactitud en la precisión de los tiempos de viaje.

En el caso de estudio de la Universidad de Jiaotong, se analizaron dos rutas de transporte público: La Ruta No 71, en Yanah Rd, que se dirigía al este de la ciudad y la Ruta 55, en Siping Rd, hacia el sur de la ciudad de Shanghai. Según el estudio, el tráfico en Yanah Rd es mucho mayor que en Siping Rd, en especial en las horas de la mañana. Para el caso de esta investigación, las etiquetas RFID no fueron instaladas en los vehículos, sino que los datos fueron simulados mediante la información recolectada por las cámaras de la ciudad. Adicional a esto y para el efecto de la modelación, fueron tenidos en cuenta los datos recolectados durante un mes de operación.

Los horarios de despacho de la ruta 71 son entre 4 y 5 minutos en la hora pico y entre 6 y 7 minutos en la hora valle; para la ruta 55 es de 4 minutos en la hora pico y de 8 minutos en la hora valle. La simulación ubicaba las cámaras de toma de información en posibles lugares donde los lectores RFID podrían ser instalados, y en donde se pudiera identificar la placa del vehículo y su ubicación geográfica.

Adicional a esto, todos los buses estaban equipados con sistema GPS, esta información fue recopilada en una base de datos en tiempo real. Los datos de la localización de los buses fueron recopilados y subidos a la nube bajo tres condiciones: Después de que el bus estuviera andando por 30 segundos, después de que hubiese recorrido más de 250 metros en 30 segundos y después de que llegara o abandonara el terminal.

En total se recolectaron 4,615 datos, de la simulación de RFID en donde se recopilaba información relacionada con el tipo de vehículo, la identificación, el tiempo, la posición y la identificación de la intersección. Para el sistema GPS se recolectaron 8'743,709 de datos, en donde se almacenaban datos relacionados con la posición, el tiempo, la dirección, el número de paradas, entre otros.

Luego de realizar el procesamiento de la información recopilada, el estudio arrojó los siguientes resultados:

- Muchos modelos para predecir el tiempo de viaje de los buses, han sido desarrollados mediante el uso de GPS, pero estos mismos han tenido que ser recalibrados e incluso no tienen aplicación en otros escenarios, debido a factores que cambian considerablemente entre una ruta u otra. Sin embargo, los modelos basados en la tecnología RFID, tienen la ventaja de ser generalizados bajo diversas condiciones, por lo cual la implementación de esta tecnología tiene una amplia aplicación en la predicción del tiempo de viaje en buses.
- Mediante los modelos lineales realizados por la investigación, se obtuvieron dos conclusiones importantes. En primer lugar que las velocidades de los buses y de los taxis tienen una buena relación lineal y que este modelo puede predecir la velocidad del autobús, mediante las velocidades de los corredores si no se tienen datos disponibles de la ruta. Al tomar velocidades de otros tipos de vehículos, como los taxis, se hace más precisa la predicción de la velocidad, incluso si la zona de estudio presenta bastante congestión. En segundo lugar que el rendimiento general de los modelos basados en RFID es superior al modelo basado en GPS. Una explicación a esto, es que la investigación contempla la variación del tráfico y las demoras por intersecciones semaforizadas.
- Finalmente se deduce que la aplicación del tipo de modelos de predicción al utilizar la tecnología RFID mejora significativamente la precisión de la estimación del tiempo de viaje. (Xinghao, Jinga, Guojun, & Qichong, 2013)

### **3.3 Experiencias del uso de sistemas RFID en Latino América.**

Varios países en Latino América han implementado soluciones de integración de RFID en vehículos, bien sea para aplicaciones de identificación de vehículos o para pagos de peajes.

La iniciativa más ambiciosa ha sido lanzada en Brasil, a través de la implementación de un sistema llamado SINIAV (Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos), que entró en operación en el 2016. A partir de esa fecha los vehículos debían tener instalado una etiqueta RFID con un número de identificación única. Adicionalmente, se ha propuesto que las etiquetas se usen como medio de pago de automatizado en peajes en las autopistas.

Por otro lado, Chile cuenta con sistema de pago automatizado basado en etiquetas RFID instaladas en los vehículos. El sistema opera en seis autopistas interurbanas y utiliza el esquema MLFF (Multi Lane Free Flow).

El proyecto SINIAV se describe a continuación:

#### **3.3.1 Proyecto SINIAV**

El Consejo Nacional de Transito de Brasil (CONTRAN, creado bajo la resolución No 212 del 2006) estableció la implementación del Sistema Automático de Identificación de Vehículos SINIAV en todo el país, basado en la tecnología de identificación por Radio Frecuencia, compuesto por Tag's o placas de identificación instalados en los vehículos, antenas de lectura, plantas de procesamiento y sistemas informáticos.

Sin embargo, la implementación del sistema ha tenido un proceso de varios años: el 17 de diciembre de 2009, mediante la Resolución 338, CONTRAN, modifico la Resolución No 212 con el fin hacer más flexible y ajustar las especificaciones técnicas y archivos adjuntos de dicha resolución, para apoyar la implementación del sistema.

En junio de 2011 se publicó por DENATRAN (Departamento Nacional de Transito) la Ordenanza Nº 570, la cual plantea una revisión de todas las definiciones técnicas de SINIAV, permitiendo a Detrans (Departamento de Transito del Estado de Rio de Janeiro) la puesta en ejecución del sistema.

En aquella ordenanza se establecía que el proceso de implementación del Sistema Nacional de Identificación Automática de Vehículos –SINIAV– necesariamente debía empezar a operar en todo el país desde el 1 de enero de 2012 y ser completado hasta el 30 de junio de 2014 y que después de esa fecha ningún vehículo podía circular sin cumplir con las especificaciones técnicas consignadas en la ordenanza. Adicional a eso se encargó a los ejecutivos de transito de cada Estado la responsabilidad de la implementación y operación de SINIAV dentro de su territorio, es decir que se

descentralizó la puesta en marcha del sistema en el territorio nacional de Brasil. De esta forma las autoridades de tránsito debían realizar acuerdos con los municipios que contribuyeran a la implementación del sistema, esto de acuerdo con el Art. 25 del Código de Tránsito Brasileiro. (CTB)

Así mismo, para satisfacer las demandas de las resoluciones del SINIAV, DENETRAN desarrollo un protocolo llamado IAV, con el propósito de hacer interoperable los equipos de lectura del sistema, el procesamiento de la información de los vehículos y la identificación de las placas, esto a través de la Ordenanza 227 del 30 de Marzo de 2010.

El 17 de marzo de 2011, por el Decreto N° 281, el DENATRAN autorizó y estableció los criterios para la realización de proyectos piloto de SINIAV bajo la responsabilidad de los órganos ejecutivos de tránsito de los Estados y del Distrito Federal, destinado exclusivamente para pruebas destinadas a la implementación del SINIAV. El plazo para la ejecución de proyectos piloto SINIAV no excedería el plazo de 31 diciembre de 2011.

En diciembre de 2011, se expidió la Resolución N° 118 que modificaba el "programa de distribución de SINIAV" de la Resolución N° 212 de 22 de noviembre de 2006, en donde CONATRAN amplía nuevamente el plazo de implementación del sistema, hasta el 30 de junio de 2012 y complementarse antes del 30 de junio de 2014.

Luego de esto, y teniendo en cuenta la necesidad de ampliar el tiempo de inicio del sistema, una vez más, el 26 de junio de 2012, se publicó la Resolución N° 127 modificando de nuevo el "programa de distribución SINIAV" de la Resolución " 212 de 22 de noviembre de 2006, ampliando el plazo de inicio del sistema para el 1 día de enero del 2013 y finalizar el 30 de Junio de 2015

Finalmente, el 17 de junio de 2015, se publicó la Resolución N° 537, que modifica el proceso de implementación de la Lista SINIAV, que decreta que el sistema debía entrar en operación el 01 de enero de 2016 con el fin de proporcionar el avance de los organismo de tránsito.

### ***3.3.1.1 Características del SINIAV***

Desde un punto de vista más técnico, el sistema SINIAV se desarrolló debido al crecimiento de la economía nacional y el progreso del mercado del transporte de personas y de carga, pues se creó la necesidad de mejorar los recursos para garantizar la seguridad de los vehículos.

SINIAV tiene como objetivo mejorar la gestión del tráfico y la inspección de los vehículos, además de ser un sistema comprometido con el aumento de la seguridad de la población. Adicional a esto, el tráfico ha sido un inconveniente importante en las ciudades de Brasil y existen problemáticas asociadas a los robos de vehículos de carga y a vehículos particulares, así como colas en los peajes y la falta de seguridad vial.

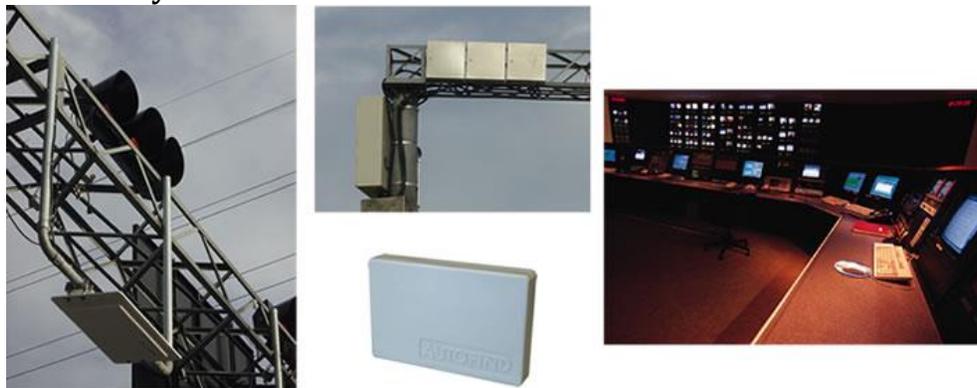
El sistema SINIAV, funciona con chips electrónicos instalados en los vehículos para ser identificados y rastreados electrónicamente, por las antenas que se colocan en puntos estratégicos dentro de las ciudades. Estas antenas envían la información a la central de procesamiento para verificar la situación de los vehículos, con el fin de identificar vehículos clonados, multas, licencias e impuestos. Esto busca la reducción de la congestión, la mejora de la gestión del tráfico y el control de los volúmenes vehiculares en las ciudades y en las carreteras.

Para instalar SINIAV en una ciudad se deben utilizar una gran cantidad de componentes, el más simple de ellos es el chip electrónico o Tag's que se puede pegar en los parabrisas de los automóviles y el bastidor frontal de las motos. Este chip contiene información asociada al número de serie del chip, placa, chasis, código RENAVAL (Registro Nacional de Vehículos Automotores) y también los datos privados de los vehículos servicio público.

Otro componente del sistema, son las antenas las cuales permiten la comunicación entre los Tags y la planta de procesamiento. Para que estas antenas puedan registrar la información adecuadamente los vehículos deben ir a velocidades de menos de 160km/h y su alcance es de hasta cinco metros para ofrecer un rendimiento del 99,9%

Dentro del sistema, existe una central de recepción de información en cada estado, que a su vez envía la información al nivel central nacional con el fin de dar avisos sobre secuestros, robos o cargos de robos. La muestra las antenas del sistema y una central de procesamiento de la información.

**Figura 8 Antenas y central de información del sistema SINIAV**



Fuente: Tomado de la página del SINIAV <http://www.autofind.com.br/siniav.php>

### **3.3.1.2 Aplicaciones del SINIAV**

El sistema SINIAV tiene varias aplicaciones prácticas que representan un avance significativo para los sistemas inteligentes de transporte utilizados para la vigilancia y el control del tráfico. Dentro de las aplicaciones más representativas se encuentran:

- **Organización de Tránsito**

El sistema busca la sincronización de las fases semafóricas en las intersecciones mediante la obtención de información de los volúmenes vehiculares en tiempo real.

El fin de esto es la organización de los altos volúmenes vehiculares en las intersecciones semaforizadas. Para esto las antenas están ubicadas en las intersecciones y envían la información al sistema central, el cual controla las fases semafóricas, de esta forma los planes de señales están orientados a la cantidad de flujo vehicular y no a los horarios del día.

- **Vigilancia electrónica**

El fin de esta aplicación es el control a vehículos que se desplazan de manera irregular, es decir, que tienen deudas asociadas a comparendos, problemas con las licencias de conducción o impuestos. De esta forma, las antenas envían la información a la central para reportar este tipo de vehículos, que a su vez envía la información a la policía de tránsito, los cuales toman las medidas pertinentes de inmovilización del vehículo y sanciones.

- **Seguridad frente a robos**

Cuando un vehículo es robado y el propietario informa a la policía, la placa es registrada en la base datos de robos. De esta forma, cuando el vehículo pasa por una de las antenas del SINIAV, la ubicación de este es enviada a la policía. Aunque este sistema no es tan efectivo con el GPS, las antenas pueden proporcionar datos esenciales a los responsables de la búsqueda creando cordones o áreas de vigilancia específicas, siendo una forma rápida y práctica de rastrear vehículos en movimiento.

- **Empresas privadas**

Existen centros comerciales, mercados y otros establecimientos, asociados al sistema, a los cuales se les permite hacer cobros prepagados o instantáneos en los estacionamientos, mediante la conexión electrónica.

Este mismo sistema funciona en los peajes y se busca la misma metodología para el pago de pequeñas multas asociadas con paradas prohibidas o pequeñas infracciones de tránsito.

- **Seguimiento a los vehículos de carga**

Esta aplicación está disponible para las empresas de carga y funciona de manera similar al rastreo de vehículos. Los camiones son registrados por las antenas, que envían la información a al central y esta a su vez la transmite a las empresas con una periodicidad de tiempo; esto provee seguridad a los conductores y empresarios que pueden localizar sus cargas y mejorar el control del transporte.

### **3.4 Integración de los sistemas de identificación de vehículos para estudios de tránsito y transporte en Colombia.**

El Ministerio de Transporte y el Departamento Nacional de Planeación han realizado varios estudios de factibilidad para la implantación de sistemas de identificación vehicular y pago automatizado de peajes con RFID.

Los estudios realizados en los últimos años en Colombia en este tema son:

- DNP 2009. “Estudio de prospectiva de peajes urbanos en ciudades Colombianas”, ejecutado Cal y Mayor Asociados y Alejandro Atuesta y Asociados.
- Ministerio de Transporte- Invias, 2009. “Evaluación de las Tecnologías para la implementación del Sistema Electrónico de Cobro de Peajes”, Elaborado por la Universidad Nacional de Colombia.
- Corporación Andina de Fomento, 2010. “Propuesta para el Sistema de Gestión de Tráfico y Sistema Electrónico de Cobro”, IKONS ATN.

En cuanto a las Políticas para la implementación de sistemas cobro de automatizado, el documento CONPES 3677 de 2010 (CONPES de Movilidad Integral Para La Región Capital Bogotá -Cundinamarca), recomienda en la sección V, “Políticas y estrategias integrales de movilidad en la región capital” una serie de “estrategias que buscan guiar y complementar la orientación de acciones en cada uno de los campos críticos de la movilidad”. Entre las medidas mencionadas por el documento se destacan los sistemas de recaudo de multas automatizado:

*“El tratamiento de comparendos, multas y demás aspectos de regulación es clave en la promoción de la Movilidad socialmente responsable. Los efectos negativos relacionados con la movilidad son costos sociales que deberían ser asumidos por los actores causantes. Asimismo, se deben considerar medidas de tarificación para el uso del vehículo particular, las cuales deberían reflejar el costo social por el uso de recursos escasos como son el espacio vial y el aire limpio.*

*La implementación de proyectos que mejoren la gestión y cobro en torno a estos aspectos es de suma importancia y puede ser potenciado con la implementación de sistemas electrónicos tanto para la captura de las infracciones como para su cobro, basado en las facilidades que ofrece la norma. Se sugiere adicionalmente propender porque otros municipios de la Región adopten este tipo de medidas con el uso de tecnologías de información.” (Departamento Nacional de Planeación, 2010)*

En Colombia, el monitoreo automatizado de vehículos se realiza mediante cámaras y radares de medición de velocidad. En los municipios donde este tipo de tecnología no está instalada, el monitoreo se realiza manualmente por autoridades de tránsito, lo que limita el número y la duración de los operativos de control y por ende la efectividad de los mismos.

Cada uno de estos modos de monitoreo son aplicables a escenarios específicos y tiene costos y grados de efectividad variados.

El monitoreo mediante cámaras permite identificar fácilmente las características exteriores del vehículo, pero no siempre es capaz de identificar la placa del mismo, especialmente en horas de la noche, en condiciones de baja visibilidad (lluvia, mala iluminación) o cuando el ángulo de observación no es el adecuado. Estos efectos se ven reflejados de la misma forma en las tomas de información manual mediante mediciones en campo.

Los radares tienen efectividad sólo en la detección de velocidad y necesitan una cámara asociada para identificar al vehículo. Esto nos lleva nuevamente a las limitaciones que se presentan en el párrafo anterior.

A pesar de que en Colombia ya se han realizado estudios y aplicaciones sobre los sistemas inteligentes de transporte, la tecnología RFID aborda dos problemas funcionales de la implementación de este tipo de sistemas, los cuales a menudo comprometen la viabilidad de los mismos. Estos son, en primer lugar, la escalabilidad del sistema, problema que se ataca desde una perspectiva innovadora mediante el uso de una plataforma de procesamiento basada en cloud computing (término inglés). En segundo lugar se considera el efecto que un ambiente electromagnético complejo (en el que intervienen un vehículo en movimiento, sus pasajeros, etc.) pueda tener sobre el desempeño del subsistema RFID, problema que se aborda mediante el uso de herramientas avanzadas de simulación electromagnética.



## **4 Diseño de las pruebas de RFID en el campus de la Universidad Nacional y en Chía – Cundinamarca**

Los sistemas inteligentes de transporte (ITS) son una parte importante en el desarrollo de ciudades inteligentes, que a su vez, son una necesidad para la viabilidad social y económica de las ciudades alrededor del mundo. Uno de los objetivos más importantes para los ITS es suministrar herramientas que permitan solventar el problema de los atascos de autos en las ciudades, que generan consecuencias directas sobre sus habitantes.

Una arquitectura ITS puede ser dividida en tres partes fundamentales: medición y convergencia de la información de tráfico, soporte para aplicaciones y manejo del transporte urbano. La primera tiene que ver con los sistemas de medición y recolección de la información acerca del tráfico de las ciudades (monitoreo), la segunda con el procesamiento y visualización de dicha información y la tercera con la toma de decisiones que afecta al funcionamiento de las redes de tráfico vehicular en las ciudades. (Chattaraj, Bansal, & Chandra)

La definición de plataformas RFID aplicadas a diversos problemas industriales ha sido objeto de estudio los últimos años, como se evidencio en el capítulo 3 Etiquetas RFID en estudios de Transito y Trasporte. Se encuentran trabajos relacionados con la industria farmacéutica, donde analizan el proceso de fabricación completo y proponen plataformas RFID para aumentar su seguridad y rendimiento. Otros, plantean frameworks para orientar la aplicación de sistemas RFID a procesos relacionados con la salud, a fin de mostrar sus fortalezas y debilidades. En general, dividen un sistema RFID en las siguientes partes: adquisición de datos, manejo de los datos, seguridad y privacidad y manejo financiero y organizacional. (Nambiar, 2009)

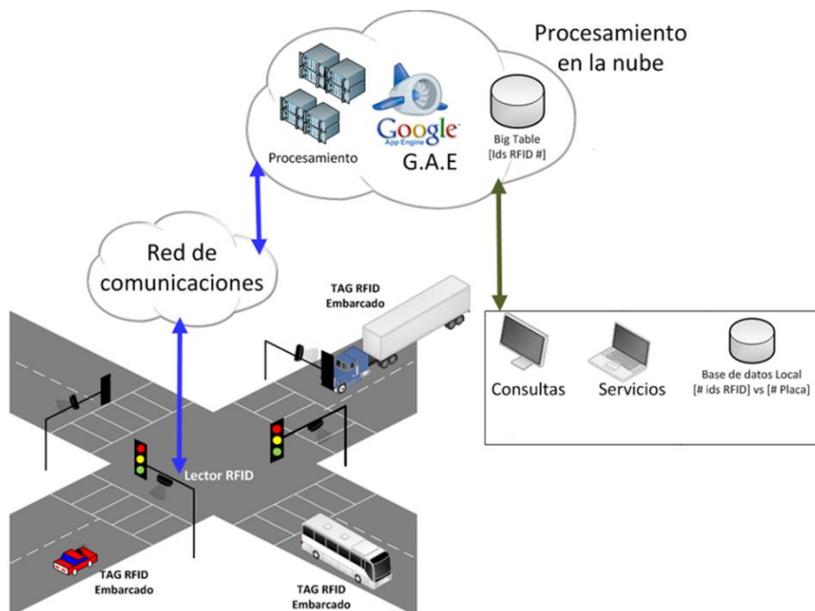
Como se explicó en el numeral 3.1.1 Tecnología RFID, esta tecnología está basada en la identificación automática e inalámbrica que permite detectar objetos mediante ondas de radio. Este sistema se compone de un lector (Reader) y una etiqueta (Tag). El lector emite una serie de ondas de radiofrecuencia al Tag, el cuál recibe las ondas mediante una antena y las retrasmite al lector con los datos en él almacenados. Luego, el lector transforma las ondas de radio del Tag en un formato que pueda ser transmitido al sistema de cómputo o aplicación que va a utilizar y analizar la información. (Ngaia, Moon, Riggins, & Yi, 2008)

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una plataforma de control inteligente de vehículos la cual presenta una arquitectura modular y escalable sobre la que pueden implementar diversos servicios y aplicaciones tecnológicas enfocadas a la solución de problemas de transporte en Colombia.

La arquitectura del sistema (Figura 9) está compuesta por:

- Una etiqueta RFID instalada en vehículos automotores y lectores RFID fijos o móviles en intersecciones y calles principales
- Diseño de un sistema de información auto-escalable y flexible basado en PaaS (Platform as a Service ~Cloud Computing)
- Desarrollo de aplicaciones prototipo de acuerdo a la necesidad de cada estudio de tránsito realizado.

**Figura 9 Arquitectura del sistema de detección de vehículos**



Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

Una vez desarrolladas las partes que componen la plataforma, tanto de hardware como de software, y luego de realizarse pruebas en laboratorio, se hace necesaria la aplicación de la tecnología en un ambiente efectivo. Para esto se escogieron dos escenarios diferentes; el primero es la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá (de ahora en adelante denominado “la Universidad”), un campus universitario con 116 hectáreas, ingresos diarios de alrededor de 40.000 peatones y 5.000 vehículos motorizados y 2.000 vehículos no motorizados (Universidad Nacional de Colombia, 2014); el segundo es el Municipio de Chía – Cundinamarca el cual posee una población de 120.069 habitantes (DANE, 2005).

## **4.1 Prueba Piloto Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá**

La prueba piloto en la Universidad Nacional, se planteó con la finalidad de establecer la estabilidad del hardware y el software desarrollados. Así mismo, identificar requerimientos que hubiesen podido escapar a la etapa de diseño y que pudieran realizarse durante o después de la prueba. Los Tags debían ser instalados en vehículos que ingresaran y salieran del campus al menos tres veces por semana, para esto se realizó una campaña de socialización, que involucrara voluntarios dentro del proyecto de investigación.

### **4.1.1 Definición de la prueba**

La determinación de los volúmenes vehiculares forma parte de la información básica para el estudio y análisis de las condiciones del tránsito en corredores viales urbanos. Por esta razón su cuantificación constituye una de las principales medidas en cualquier estudio de tránsito y transporte. (Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport, 2004)

El estudio de origen y destino sirve para obtener datos del número y tipo de viajes en un área, incluyendo movimientos de vehículos y pasajeros o carga, de varias zonas de origen a varias zonas de destino. El origen del viaje corresponde a la estación donde se registra un vehículo por primera vez y el destino es el lugar donde se le vio por última vez. En este estudio se recomienda que, de modo paralelo, se realicen conteos vehiculares para realizar el ajuste a la muestra que finalmente se logre obtener. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005)

Por otro lado, en el desarrollo de los estudios de estacionamiento, el mayor problema que se presenta es determinar cuántos espacios de parqueo se requieren en cualquier tipo de proyecto y, sobre todo, identificar dónde deben localizarse los espacios. Para esto, se determina el tiempo de permanencia de los vehículos en un espacio cerrado, mediante la diferencia entre la hora de entrada y salida y se identifica la ocupación del estacionamiento a los largo de un periodo horario. (Universidad de Sonora, 2000)

Para el caso específico de la aplicación de la tecnología, en la prueba piloto en la Universidad Nacional, se propone la instalación de seis (6) lectores RFID en las tres porterías de entradas y salidas vehiculares tal y como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10 Ubicación de Lectores RFID y recorrido lector móvil Universidad Nacional - Sede Bogotá.**



*Fuente: Elaboración Propia con base en imagen tomada de google.es/maps y en el proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos.*

Así mismo, se distribuyeron e instalaron **733** etiquetas RFID en vehículos motorizados (automóviles, motocicletas, buses y camiones) pertenecientes a la comunidad universitaria y algunos –como los buses- pertenecientes a la Universidad; estos vehículos pertenecían a profesores, estudiantes, contratistas y personal administrativo, que al pasar por las porterías eran registrados y procesados, mediante un sistema de gestión desplegado en la plataforma Google App Engine que ofrece una API (Interfaz de programación de aplicaciones) que permite realizar el registro de dichas lecturas.

El conteo vehicular se realizó mediante la detección electrónica de los vehículos, la cual permite el registro de las etiquetas, identificando:

- Fecha,
- Hora de paso,
- ID de la etiqueta,
- Tipo de vehículo y
- Localización.

La prueba piloto se realizó en un periodo de 40 días calendario, lo que permitió tener lecturas 24 horas del día de los vehículos que ingresan y salen del campus, adquiriendo resultados en línea de lo sucedido en tiempo actual o en días anteriores y posteriores (durante el periodo de prueba).

#### 4.1.2 Validación Manual

El objetivo de esta prueba es validar o rectificar la información recolectada mediante la detección electrónica de vehículos, así como determinar el universo de vehículos que ingresan al campus Universitario en un día típico, pues el ensayo electrónico solo permitirá detectar un porcentaje del total de automotores.

Es así como la toma de información manual de volúmenes vehiculares consiste en registrar todos los vehículos automotores que pasen por una intersección o vía determinada, con el fin de establecer la demanda de dicha intersección o vía; en el caso de este ensayo serán las porterías de ingreso y salida del campus (ver Figura 10).

Para comenzar a registrar la información, y de acuerdo al formato definido para este ensayo (ver Figura 11), primero se debe realizar una identificación del lugar en donde se va a realizar el aforo, éste debe incluir los siguientes datos:

- Fecha.
- Hora de inicio y finalización de la toma de información.
- Nombre del aforador responsable por la información.
- Ubicación: Especificar la portería de la Universidad en la cual se ubicará.
- Sentido del movimiento. Por ejemplo: Salida o Entrada.
- Supervisor responsable por la información.
- Condición climática: Se clasifica en “Seco” o “Lluvioso”.

El cuerpo del formato consta de tres secciones: Placa del vehículo, Periodo, si el vehículo posee o No Tag y la clasificación por tipo de vehículo.

- Placa: Se deben registrar las 3 letras y los 3 dígitos de la placa de los vehículos que se encuentran estacionados en la vía.
- Hora de paso: Corresponde al momento en el que el vehículo pasa por el punto de aforo.
- Vehículo posee o no Tag (marca SI o No)
- Tipo de vehículo.
  - Auto: Son todos los vehículos considerados como livianos, es decir automóviles, camionetas, camperos, taxis y cualquier vehículo automotor con registro y placa que no pertenezca a las demás categorías.
  - Bus: Vehículos utilizados para el transporte de pasajeros como un servicio especial.
  - Camión: Son vehículos utilizados para el transporte de carga principalmente. En esta categoría se encuentran las mulas, furgones, frigoríficos, grúas y demás vehículos pesados implementados en el transporte de bienes.
  - Motos: Son vehículos de 2 ruedas en serie con un motor de un cilindraje menor al de un vehículo automotor. Son utilizados principalmente para el transporte de personas como medio de transporte particular.



**Figura 12 Tipos de Vehículo.**

*Fuente: Elaboración Propia.*

El aforo manual se realizó el día 08 de Octubre del año 2014, con aforadores que ya habían trabajado en ensayos de tránsito y que previamente fueron capacitados para la toma de información

## **4.2 Prueba Piloto Chía – Cundinamarca**

La prueba para el Municipio de Chía se planteó con el fin de probar en un ambiente más abierto, el sistema RFID, pero su énfasis fue en el sistema de transporte público. Esto debido a diferentes variables en el acercamiento a la comunidad y a acuerdos con la Secretaría de Movilidad del Municipio, con el fin de que el proyecto tuviera una aplicación directa en la movilidad del Municipio y a su vez hiciera parte del uso diario de una de las facultades de la Secretaria de Movilidad.

Al ser una prueba en una ciudad abierta, hubo implicaciones y dificultades directas en la obtención de permiso de instalación de los equipos, acometidas eléctricas y obras civiles asociadas al uso del hardware, proceso que tardó alrededor de doce (12) meses.

### **4.2.1 Definición de la prueba**

La prueba del Municipio de Chía, está enfocada al transporte público colectivo de pasajeros el cual en la actualidad se oferta a través de 6 (seis) empresas que sirven 22 rutas, algunas de las cuales son compartidas entre empresas. El servicio es prestado en su mayoría en vehículos tipo microbús y buseta con una capacidad que está entre los 14 y 20 pasajeros. Este ensayo se realiza en cooperación con la Secretaría de Movilidad del Municipio, con el fin de medir variables del sistema que permitan identificar el cumplimiento por parte de los conductores de acciones como: el uso de los paraderos autorizados, la circulación a la velocidad máxima permitida, la verificación de horarios, frecuencias y rutas autorizadas, entre otros.

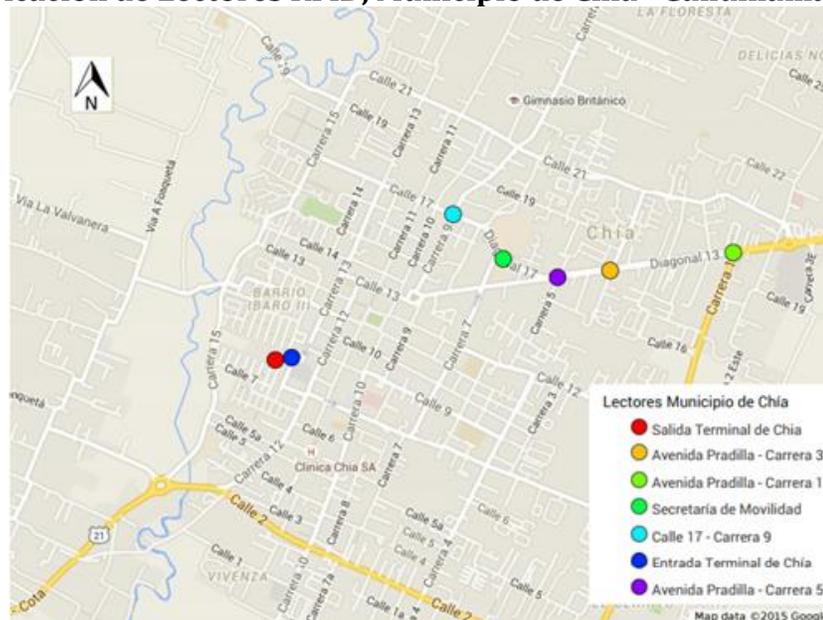
El ensayo de lectores RFID en el Municipio de Chía se realizó mediante el monitoreo de la Ruta Intermunicipal Terminal de Chía – Portal 170 – Terminal de Chía (ver Figura 13). Esta ruta en la actualidad es operada por seis (6) empresas de Transporte Publico dentro de las cuales se encuentra: Ayacucho, Sonatrans, Valvanera, Flota Chía, Auto Servicio Chía y Teusacá.

**Figura 13 Ruta de Transporte Público Terminal de Chía – Portal 170.**



*Fuente: Tomado de Transporte Valvanera S.A.*

Para el caso específico de la aplicación de la tecnología, en la prueba piloto en Municipio de Chía, se instalaron siete (7) lectores RFID en los paraderos de Transporte intermunicipal como se muestra en la Figura 14.

**Figura 14 Ubicación de Lectores RFID, Municipio de Chía - Cundinamarca.**

Fuente: Elaboración Propia con base en imagen tomada de [google.es/maps](http://google.es/maps). Y en el marco del proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos.

Así mismo, se distribuyeron e instalaron setenta y siete (77) etiquetas RFID en vehículos de transporte intermunicipal, que al pasar por los lectores, fueron registradas y procesadas, mediante un sistema de gestión desplegado en la plataforma Google App Engine que ofrece una API (Interfaz de programación de aplicaciones) que permite realizar el registro de dichas lecturas.

El conteo vehicular se realizó mediante la detección electrónica de los vehículos, la cual permite el registro de las etiquetas, identificando:

- Fecha
- Hora de paso
- ID de la etiqueta
- Ruta
- Localización

La prueba piloto se realizó en un periodo de 30 días calendario lo que permitió obtener lecturas 24 horas del día de los vehículos que transitan por el Municipio de Chía, adquiriendo resultados en línea de lo sucedido en tiempo actual o en días anteriores.

### 4.3 Definición de estrategias de socialización

Una de las fases del proyecto de investigación, era la instalación y prueba de un prototipo del sistema diseñado por el grupo, en el campus de la Universidad Nacional; para cumplir con esta actividad se necesitaba la participación de no menos de 300 voluntarios (número obtenido de una muestra del universo de la población, dato obtenido del Plan de Movilidad para el campus de la Universidad Nacional sede Bogotá) propietarios de vehículos y visitantes regulares del plantel; esta misma actividad debía realizarse en el

Municipio de Chía Cundinamarca por esto fue necesario el uso de diferentes estrategias de socialización que serán detalladas a continuación.

En primer lugar, se partió de reconocer la importancia de un proceso de difusión y socialización que se acercara a las realidades sociales de los actores involucrados y de la necesidad inherente de promover el acceso oportuno y transparente a la información; a fin de, por un lado, mitigar la generación de falsas expectativas y por el otro, impulsar los impactos positivos que surgen desde una población informada e interesada.

En segundo lugar, se vio la necesidad de proponer un nombre para el proyecto, con el objetivo de lograr mayor aceptación y recordación en la comunidad universitaria. Luego de varias opciones, se optó por SINDEMORAS, como un acrónimo de Sistema de Movilidad en Red Automático y Seguro.

Cabe anotar que para este proceso se tuvo acompañamiento permanente de un profesional social, que contribuyó en todas las actividades de divulgación del proyecto.

#### **4.3.1 Análisis de involucrados**

El análisis de involucrados se realizó con el fin de obtener tres objetivos

- 1) Garantizar que durante la etapa de ejecución del proyecto se consideren los intereses de las partes involucradas,
- 2) Proporcionar información al grupo de ingenieros que aporte a la toma de decisiones,
- 3) Incluir de manera activa a los ingenieros del proyecto en el entorno social de aplicación y potencializar resultados positivos (Comisión Nacional del Agua, 2004)

En la fase 1 se identificaron los niveles: local, distrital y nacional, mientras que en la fase 2 en lugar de la distrital, está el nivel municipal, dado el contexto; en ambas se distinguieron los actores clave por su relación con los objetivos del proyecto y por su capacidad de acción o influencia en el mismo; dentro de estos, los actores Alfa y los actores Omega.

Los Alfa son aquellos que están a favor, mientras que los Omega son los que se encuentran en oposición, neutros o indiferentes. En el caso de la universidad, de los 13 actores, 11 fueron catalogados como clave, de estos 6 eran Alfa y 5 Omega.

En Chía se identificaron 10 actores, 9 de ellos clave, 5 Alfa y 4 Omega. A dicho proceso se le sumó la clasificación económica, sociocultural y político-administrativa, y el grado de influencia: alta, media y baja. El proceso tomó cerca de dos meses en cada fase, acudiendo a fuentes primarias y secundarias; registrando la variación en la clasificación de cada actor durante la ejecución del proyecto, hasta llegar a su culminación, por lo que se deja claro que la clasificación inicial de los actores no es estática.

#### **4.3.1.1 Diseño y aplicación de estrategias de contacto con actores Alfa y Omega**

Las estrategias de comunicación se describen a continuación:

**Reuniones de socialización:** Desarrollo de conversaciones, reuniones y talleres con actores Alfa y Omega de la fase 1 y 2 de nivel local y distrital/municipal, en el lugar y hora que los actores solicitaron. Cada actividad se registró en actas de reunión, formatos de asistencia y evidencia fotográfica.

**Elaboración y distribución de material informativo:** Se adelantaron campañas de expectativa y de instalación de etiquetas en ambas fases y se complementaron con la distribución de 2000 volantes informativos en fase 1 y 200 en fase 2. Además de aspectos generales del proyecto, este material contenía los datos de contacto del grupo de ingeniería, a fin de establecer lazos entre la comunidad y el equipo.

**Presentaciones al público participante:** para reuniones con grupos de actores en se utilizó material audiovisual que ilustra los conceptos y procedimientos, adaptando la duración, el lenguaje y las gráficas a cada tipo de público. Envío de correo masivo: se envió correo a la comunidad universitaria en 3 oportunidades, informando sobre el proyecto y la forma de participar en él. Sin embargo, la estrategia no se replicó en Chía puesto que no se contaba con una base de datos y no se tenía certeza del uso regular de correo electrónico por parte de la población de conductores.

**Notas periodísticas:** se utilizaron los medios de comunicación internos de la universidad para el cubrimiento periodístico del proyecto en la fase 1, esto despertó el interés en la prensa nacional, cubriendo la prueba en Chía.

**Integración de figuras aliadas:** En fase 1 se acudió al programa de estudiantes de corresponsabilidad de la Universidad, quienes apoyaron la campaña de instalación de etiquetas RFID en los vehículos durante 3 semanas. En Chía los ingenieros del proyecto realizaron la instalación en los vehículos de los conductores.

**Consentimiento informado:** Para establecer lineamientos de participación voluntaria, se redactó y tramitó un consentimiento informado, el cual fue firmado por cada uno de los voluntarios de la universidad y los jefes de rodamiento de las empresas participantes en Chía. Encuesta de movilidad: al finalizar la fase 1 se aplicó una encuesta por medio de correo electrónico para ahondar en la percepción de la movilidad en la universidad. La encuesta se aplicó simultáneamente con la estrategia de retiro de las etiquetas y con la presencia del equipo de ingenieros en los parqueaderos para agradecer la participación.

#### **4.3.1.2 Resultados**

La Tabla 6 muestra los indicadores que resumen la gestión social aplicada en la prueba de la fase 1 y 2 del proyecto y el alto grado de eficacia que se logró en casi la totalidad de las actividades, un ejemplo de ello son los 700 voluntarios de la Universidad y los 77 del municipio de Chía, pese a que se trabajó en dos escenarios socio-culturales completamente diferentes, (ámbito universitario y sus integrantes y el sector

transportador y los conductores). El desarrollo inicial de las dos fases presentó retos de implementación debido a la necesidad de participación de una cantidad significativa de voluntarios sin una retribución tangible inmediata; esto se logró superar acudiendo a la exaltación de los beneficios que cada participante podía tener a largo plazo y la sensación de solidaridad que el mismo proyecto despertaba en ellos.

Se percibió que los casos de resistencia de la comunidad, se debían en buena parte al desconocimiento de la tecnología, la errada percepción de inutilidad y dificultad de uso. Un factor de resistencia adicional correspondió al temor de invasión a la privacidad, el cual logró disiparse al proporcionar información más exacta a quien lo solicitara, pues el sistema permite la identificación del vehículo pero no la del conductor del mismo (consentimiento informado).

**Tabla 6 Resultados Socialización**

FASE	INDICADOR	META	ALCANCE	EFICACIA %	OBSERVACIONES
1	Vehículos etiquetados	377	733	185%	Incluidos vehículos de actores Omega
	Etiquetas recuperadas	700	190	27%	Recolectadas personalmente o en recipientes dejados en los estacionamientos.
	Acciones de establecimiento de contactos con actores (reuniones, talleres, presentaciones colectivas)	11	16	145%	Presentaciones en 4 Facultades, 5 reuniones con Decanos y directores de programa, 4 reuniones con Data Tools, 1 reunión con sindicato, 2 reuniones con dependencias de la universidad.
	Volantes informativos	2000	2000	100%	Entregados en su totalidad.
	Piezas multimedia publicadas 1	1	2	200%	Unimedios y Centro Virtual de Noticias de la Educación
	Encuesta sobre movilidad	-	91	NA	
2	Vehículos etiquetados	50	77	148%	Vehículos de las 6 empresas de transporte público con ruta Chía - Bogotá
	Acciones de establecimiento de	5	10	200%	1 reunión con gerentes de las empresas de

FASE	INDICADOR	META	ALCANCE	EFICACIA %	OBSERVACIONES
	contactos con actores (reuniones, talleres, presentaciones multitudinarias)				transporte público, 3 reuniones con jefes de rodamiento, 1 con agentes de tránsito, 1 reunión exclusiva con Secretaria de Tránsito. 2 reuniones con empresa Data Tools y 2 socializaciones colectivas con conductores.
	Volantes informativos	200	200	100%	Entregados en su totalidad
	Notas de prensa	-	2	NA	Unimedios, El tiempo.

Fuente: Plataforma de Control Inteligente de Vehículos.

A manera de detalle, se describen a continuación las acciones específicas en cada una de las fases, 1 Universidad Nacional y 2 Municipio de Chía.

#### 4.3.2 Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá

Al definir el nombre, se dio inicio a la campaña de expectativa y a los acercamientos con la comunidad universitaria y su integración en el proyecto. Para esto se identificaron los grupos objetivo, es decir, el registro de las facultades y departamentos académicos, de los institutos adjuntos a la universidad, de las dependencias administrativas y de las entidades que si bien no pertenecen a la universidad, sí se ubican en inmediaciones de esta.

La búsqueda de esta información se basó en fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias se contactaron por teléfono o personalmente. Mientras que las secundarias fueron localizadas principalmente en internet.

De esta manera, se establecieron contactos físicos y virtuales con las 11 facultades de la universidad y los 32 departamentos que las conforman, con las oficinas de Bienestar de cada facultad y con la oficina de Bienestar de Sede. El propósito era llegar a los miembros de la comunidad abarcando escalas con grados diferentes de cercanía a cada posible participante: el departamento, la facultad y la Universidad.

Así mismo, se acudió a los medios de comunicación masiva con los que cuenta la Universidad y se logró promocionar el proyecto a través de un correo enviado a toda la comunidad. Posteriormente la oficina de comunicaciones nos acompañó al realizar una nota y un video publicados en la agencia de noticias, en los que se resalta la finalidad del proyecto.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> La nota y el video pueden ser vistos en detalle siguiendo estos links:

Para continuar la campaña de expectativa se establecieron contactos con las asociaciones y los sindicatos de la universidad a través de correo y reuniones personales. Se aclararon dudas y se conocieron aspectos ignorados hasta el momento por el equipo investigador. Lo mismo ocurrió con las reuniones celebradas con decanos y directores de departamentos interesados en profundizar en los objetivos y la metodología del proyecto. Simultáneamente se presentó por correo el proyecto a la división de transportes de la Universidad, al colegio de la misma, el Instituto Pedagógico Arturo Ramírez Montúfar – IPARM y a las entidades cercanas al campus como el IICA, el ICTA, entre otras.

Antes de dar inicio a la campaña de instalación de las etiquetas en los automóviles de los voluntarios, se diseñaron e imprimieron 2000 ejemplares de volantes informativos que fueron difundidos directamente entre los propietarios y conductores de vehículos en las porterías y en los parqueaderos de la Universidad. En estos se presentaba el proyecto, sus objetivos, la metodología de la prueba, su duración y la forma en la que los interesados podrían participar. Al respaldo se indicaban las fechas y los lugares en los que se iba a realizar la instalación de las etiquetas y los datos de contacto con el equipo de investigadores e ingenieros en caso de inquietudes.

Es importante mencionar que de acuerdo con los cálculos de la muestra de instalación de Tag's, el estudio y el correcto desarrollo de la prueba requería una muestra de por lo menos 377 vehículos y fue hacia esta muestra donde se encaminaron las acciones de la estrategia de expectativa y de instalación de etiquetas.

**Figura 15 Volantes impresos para distribución Universidad Nacional**

**PROYECTO DE INV. "SINDEMORAS"**  
Sistema de Movilidad en Red, automático y seguro

**¿QUÉ ES "SINDEMORAS"?**  
"SINDEMORAS". Sistema de Movilidad en Red Automático y Seguro, es un proyecto de investigación, cuyo objetivo es mejorar la movilidad del país. Es liderado por el grupo de investigación en Compatibilidad Electromagnética de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, en alianza con el Programa de Investigación en Tránsito y Transporte y el apoyo de COLOCIENCIAS.

**¿CÓMO BENEFICIA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL?**  
El proyecto contempla una prueba piloto, que tendrá lugar en el campus de la Universidad y sus resultados apuntarán a mejorar la gestión de movilidad en el campus y la ciudad de Bogotá.

**¿EN QUÉ CONSISTE LA PRUEBA PILOTO?**  
Se ubicará una etiqueta, similar a una pequeña calcomanía, en el vidrio panorámico de los vehículos de los voluntarios, mientras que en las porterías de ingreso vehicular se instalarán unos lectores que detectan el paso de los automóviles con la etiqueta; dicha información se ingresará en una red virtual que permitirá hacer más eficiente la movilidad del campus.

**¿CÓMO PUEDES AYUDAR?**  
Si asistes regularmente al campus en algún medio de transporte motorizado (moto, automóvil, camioneta, entre otros) se ubicará la etiqueta en tu vehículo entre el 25 de agosto y el 13 de septiembre/14, en los parqueaderos de la Universidad.

**¿CUÁNTO DURA LA PRUEBA?**  
3 semanas. Del 15 de septiembre al 17 de octubre/14. Las etiquetas serán retiradas entre el 20 y el 24 de octubre/14 en los parqueaderos y porterías de la Universidad.

**FECHAS Y ESTACIONAMIENTOS DONDE SE INSTALARÁN LAS ETIQUETAS**

25 Ciencia y tecnología CADE	26 Ciencias económicas Biología	27 Enfermería Sociología	28 Medicina Física, estadística y matemáticas	29 Agronomía Derecho
1 Biología	2 CADE Ciencia y tecnología	3 Física, estadística y matemáticas Ciencias económicas	4 Sociología Enfermería	5 Cine y televisión Medicina
8 Derecho Agronomía	9 Edificio 425 Programas ciencias humanas	10 II Cine y televisión Odontología	11 Odontología II	12 Programas ciencias humanas Edificio 425

**Grupos de Investigación:**  
GIC-UN: Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética (UN)- Facultad de Ingeniería - Unidad Candelaria, Bloque 5, Oficina 302. Correo electrónico: [unicom@unal.edu.co](mailto:unicom@unal.edu.co)  
GIC-UN: Programa de Investigación en Tránsito y Transporte (UN)- Facultad de Ingeniería - Unidad Candelaria, Bloque 5, Oficina 302. Correo electrónico: [unicom@unal.edu.co](mailto:unicom@unal.edu.co)

**También puede concertar una cita:**  
GIC-UN: Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética (UN)- Facultad de Ingeniería - Unidad Candelaria, Bloque 5, Oficina 302. Correo electrónico: [unicom@unal.edu.co](mailto:unicom@unal.edu.co)  
Teléfono celular: 301 6333223 Nro. 3100000 ext. 11112

Con el apoyo de: COLOCIENCIAS, UNIVALLE, UNICOM, UNIVALLE

[www.sindemoras.com.co](http://www.sindemoras.com.co)

Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

#### 4.3.2.1 Instalación de Tags

Para dar inicio a la campaña de instalación de etiquetas, la cual tuvo una duración de 3 semanas de lunes a viernes, se convocaron estudiantes de corresponsabilidad de la Universidad Nacional. Los estudiantes de corresponsabilidad son estudiantes de pregrado que reciben apoyo socio económico de alimentación u hospedaje por parte de la institución; a cambio, deben cumplir un mínimo de 20 horas de ayuda en labores de archivo o soporte de investigación, asistencia y demás que requieran las diferentes dependencias administrativas o investigativas del campus.

Finalmente, fueron 11 estudiantes quienes luego de ser capacitados en los aspectos técnicos y logísticos de la tecnología e instalación de etiquetas, completaron sus horas con el proyecto SINDEMORAS. La manera en la que se organizaron dependió de su disponibilidad horaria

Simultáneamente, se redactó un consentimiento informado, siendo este el documento en el que se comunicaba brevemente el objeto del proyecto, las obligaciones del equipo investigativo, tales como la no revelación de información personal o uso indebido de los datos y los derechos del participante voluntario, dentro de los que se resalta la posibilidad de retirarse de la prueba en el momento que lo desee, incluso si esta no hubiese llegado a su fin. Al final del documento se dispuso un desprendible en el que se manifestaba expresamente la participación voluntaria y se registraba el nombre, el

número de cédula, de celular, el correo electrónico, la calidad de relación con la universidad, la clase de vehículo, el número de la placa y el serial de la etiqueta que se instalaba en el mismo.

Como lo anunciaban los volantes informativos, la instalación de las etiquetas se realizó en los parqueaderos de la universidad. Cada día de 3 a 5 colaboradores, entre estudiantes de corresponsabilidad e ingenieros del grupo de investigación, se ubicaron en dos parqueaderos, de los 15 inventariados, entre las 9 am y las 5 o 6 de la tarde. Es importante mencionar que cada parqueadero fue cubierto durante dos días, teniendo en cuenta los días de pico y placa. Los colaboradores portaron una escarapela con el nombre del proyecto y el del estudiante, documentos de consentimiento informado y volantes informativos.

La presentación del proyecto a través de correos y volantes informativos en la campaña de expectativa, permite hablar de una socialización virtual del proyecto, pero el encuentro directo y personal con los propietarios de los vehículos en los parqueaderos representa la verdadera socialización. En el parqueadero el colaborador esperaba a que un vehículo llegara a estacionarse o a que una persona se preparara para salir de la universidad en su vehículo, en cualquiera de los dos casos, el colaborador se acercaba, le preguntaba si conocía el proyecto de investigación SINDEMORAS, lo describía brevemente y le preguntaba su interés en participar del mismo. De ser afirmativa la respuesta, el participante debía leer el consentimiento informado, aportar sus datos y finalmente, el colaborador fijaba la etiqueta RFID en la parte posterior del espejo retrovisor o en la zona frontal de la motocicleta.

Finalmente, el resultado de la estrategia fue la participación de más de 700 voluntarios, cerca de 300 más de los que se habían calculado para una prueba exitosa, asegurando de esta forma una mayor confiabilidad en los datos y confirmando un acercamiento efectivo a los participantes.

Cabe mencionar que al realizar una instalación en donde la recopilación de la información del vehículo era consignada de forma manual y escrita, existía una alta probabilidad de error humano en el momento de la recolección de la información, de igual manera al ser ingresada esta información en el sistema que permitía correlacionar la información del Número de la etiqueta (ID) con la placa del vehículo, se cometieron errores que en algunos casos, no permitieron adjudicar una placa a un ID de etiqueta; de esta manera se podía conocer si un vehículo ingresaba al campus pero no había información en el sistema de una placa ni del tipo de vehículo, por esta razón y con el fin de no repetir este error, en la prueba para el Municipio de Chía, se creó una aplicación web mediante la cual se registraba la información y cerraba campos que se volvían obligatorios para poder ingresar el vehículo en el sistema.

### **4.3.3 Municipio de Chía Cundinamarca**

La principal estrategia de implementación del proyecto es la alianza entre la Secretaría de Movilidad y la Universidad Nacional. Esto permite tener contacto directo con los diferentes actores dentro de la operación de los sistemas de transporte intermunicipal. Para esto se realizaron diferentes socializaciones para la instalación de los Tags en los buses.

La primera socialización se realizó el 29 de Abril de 2015, con los Gerentes de las empresas transportadores, en donde el enfoque principal fueron beneficios que la tecnología podía traer al control de las rutas y buses operadores, además de la contribución en el ámbito de la investigación que esta tecnología aporta en el desarrollo de la recolección e información en Colombia.

Paulatinamente se realizaron reuniones con los jefes de rodamiento de cada empresa, los cuales proveían la información del lugar y el número de buses permitidos para instalar los Tags.

Así mismo se realizaron reuniones con los agentes de tránsito del Municipio de Chía, de quienes se requieren acompañamiento durante todo el proyecto y quienes en un futuro tendrán acceso a la información recolectada.

Los conductores de los buses hicieron parte activa de la implementación de la tecnología y con ellos a la vez se realizaron charlas informativas del propósito del proyecto.

La ayuda visual e informativa durante la instalación de los Tags se ilustra en la Figura 16.

Figura 16 Volantes impresos para distribución Municipio de Chía



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CHÍA SINDEMORAS



### Sistema De Movilidad En Red Automático Y Seguro

#### ¿QUÉ ES "CHÍA SINDEMORAS"?

Chía SINDEMORAS (Sistema de Movilidad en Red Automático y Seguro) es la implementación de un **proyecto de investigación** que contempla la construcción de una plataforma informática diseñada para recoger datos del tránsito, sobre la cual pueden establecerse diversos servicios y aplicaciones tecnológicas, enfocadas a las **soluciones de problemas de transporte en Colombia**. El primer prototipo de campo será validado en Chía con los **vehículos del transporte público colectivo**.

#### ¿CÓMO BENEFICIA AL MUNICIPIO DE CHÍA?

La información recolectada en el proyecto se convierte en **estadísticas** que pueden ayudar en el futuro a: Detección de congestión de vías en horas pico, optimización de semáforos, ejecución de acciones correctivas de forma más eficiente, mejoramiento de vías y de la calidad de servicio a los usuarios, entre otros. A largo plazo dichos datos pueden ayudar a la obtención de estadísticas para planeamiento vial municipal.

#### ¿EN QUÉ CONSISTE LA PRUEBA PILOTO EN CHÍA?

Se ubicará una etiqueta, similar a una pequeña calcomanía, en el vidrio panorámico de los **vehículos de transporte público**, mientras que en diferentes puntos de la ciudad se instalarán unos **lectores** que detectan la etiqueta de dichos vehículos; la información permitirá hacer más eficiente la movilidad del municipio. La Secretaría y las empresas de transporte por su parte, realizarán **campañas de cultura ciudadana** con usuarios.

#### ¿CÓMO AYUDAR?

Si ya cuentas con la etiqueta en tu vehículo de transporte público, te agradecemos dejarla en su sitio y evitar su manipulación durante el tiempo que dure la prueba.

**AL INSTALAR LA ETIQUETA EN TU VEHÍCULO DE TRANSPORTE PÚBLICO, ESTÁS AYUDANDO A MEJORAR LA MOVILIDAD DE TU MUNICIPIO**

Mayores Informes: EMC -UN- Grupo de investigación de Compatibilidad Electromagnética UNAL – Facultad de Ingeniería - Unidad Camilo Torres. Bloque 5. Oficina 902. Ext. 10521. [sindemoras@gmail.com](mailto:sindemoras@gmail.com)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA | Microtransporte | COLEGIOS DE COLOMBIA | DATA TOOL

Grupo de investigación en compatibilidad electromagnética | PIT- Programa de investigación en tránsito y transporte

Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

## **5 Análisis y recolección de la información obtenida.**

De acuerdo con las pruebas realizadas en el campus de la Universidad Nacional y en el Municipio de Chía, se realizó el análisis de la información recopilada con el fin de identificar los comportamientos de los vehículos que circulan en los dos escenarios, para así poder determinar si la tecnología RFID es una herramienta aplicable en los estudios de tránsito y transporte planteados para este trabajo de grado –Volúmenes Vehiculares, Estacionamientos, Matriz Origen-Destino, entre otros-.

Una vez presentados algunos de los datos más relevantes obtenidos del estudio (Todos los datos recopilados se encuentran en la nube de Google App Engine descargable para los usuarios del sistema), se realiza una comparación entre las pruebas con la tecnología RFID y las pruebas de recopilación de información manual, convencionales, esto desde el análisis de costos, recolección de datos y procesamiento de la información.

Es importante mencionar que la información aquí consignada, hace referencia únicamente a los vehículos, que de manera voluntaria, accedieron a instalar los Tags, para contribuir con el avance de la investigación.

### **5.1 Prueba Universidad Nacional**

A continuación se presentan resultados obtenidos en la prueba piloto dentro del Campus de la Universidad Nacional sede Bogotá, que permiten evidenciar patrones de comportamiento a nivel global de los vehículos que por allí transitan, esto a través de la información recopilada por los lectores y los Tag's instalados a los usuarios voluntarios que hicieron parte del ensayo, teniendo en cuenta que los números allí reflejados hacen referencia exclusivamente a esta población.

Como se mencionó en el Capítulo 4, numeral 4.1 Prueba Piloto Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, los datos recolectados pertenecen a todo el mes de Octubre del año 2014. Alrededor de este periodo se obtuvieron más de catorce mil seiscientos registros (14,600), de lo cuales se presenta la información más relevante, discriminados por tipo de ensayo.

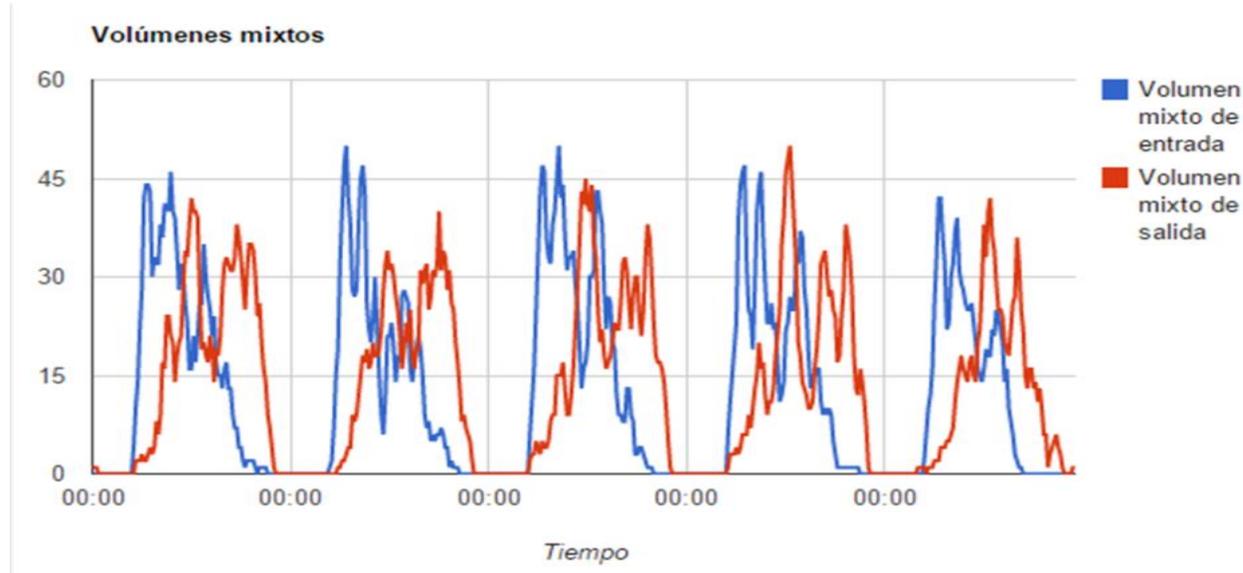
Esta información fue procesada a través de una aplicación diseñada y ejecutada con el acompañamiento de estudiantes de pregrado de Ingeniería de sistemas, que mediante la herramienta de Google App Engine, permite obtener los resultados de los estudios de volúmenes vehiculares, estacionamientos y matriz Origen – Destino, en tiempo real, sin

la necesidad de tener que digitar y realizar el procesamiento en hojas de Excel como se hace en la mayoría de estudios en Colombia.

De esta forma las gráficas presentadas a continuación son el resultado de la información obtenida mediante la aplicación en línea <https://master-dot-colciencias622.appspot.com>.

La Gráfica 1 muestra el patrón de comportamiento horario de entradas y salidas al campus Universitario, para un periodo de consulta entre el 6 de Octubre a las 00:00 horas y el 11 de Octubre a las 00:00 horas, lo que permite ver el comportamiento de una semana típica en el campus. Además, esta gráfica presenta la interfaz del software diseñado para las salidas de información.

**Gráfica 1 Volúmenes Vehiculares, Prueba Piloto Universidad Nacional**



Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

En comparación con un estudio de tránsito realizado en el año 2013 para el campus de la Universidad (Universidad Nacional de Colombia, 2014) y la prueba piloto realizada con la tecnología RFID, se obtuvo que:

Las horas pico de entradas obtenidas se encuentran dentro de los mismos periodos; estos horarios son entre las 6:30 am y las 10:00 am en la mañana y entre las 13:00 y 14:00 en la tarde; esto relacionado con las horas de inicio de actividades en el campus (en la mañana) y la hora de almuerzo (en la tarde).

En cuanto a las salidas, en los dos estudios, se evidencia que el primer pico se presenta en las horas de la mañana entre las 9:00am y las 10:00am, el segundo pico y el más relevante del día se presenta entre las 12:00 y las 13:00 horas debido a la hora de almuerzo y finalmente entre las 18:30 y 19:30 debido a la finalización de la jornada.

La Gráfica 2 presenta los resultados obtenidos en un día de consulta (09 a 10 de Octubre de 2014) de las tres porterías en donde fueron instalados los lectores, esto permite identificar el lugar de entrada, salida y en general más utilizado por los usuarios de la prueba, para así obtener la Matriz de Origen-Destino, para este caso, Entrada – Salida de los vehículos que se movilizan dentro del campus.

### Gráfica 2 Matriz Origen – Destino, Prueba Piloto Universidad Nacional

	[1] Salida Capilla	[2] Salida Carrera 45	[3] Salida Calle 53	Total general
[1] Entrada Capilla	15	8	17	40
[2] Entrada Carrera 45	37	71	38	146
[3] Entrada Calle 53	7	20	38	65
Total general	59	99	93	251

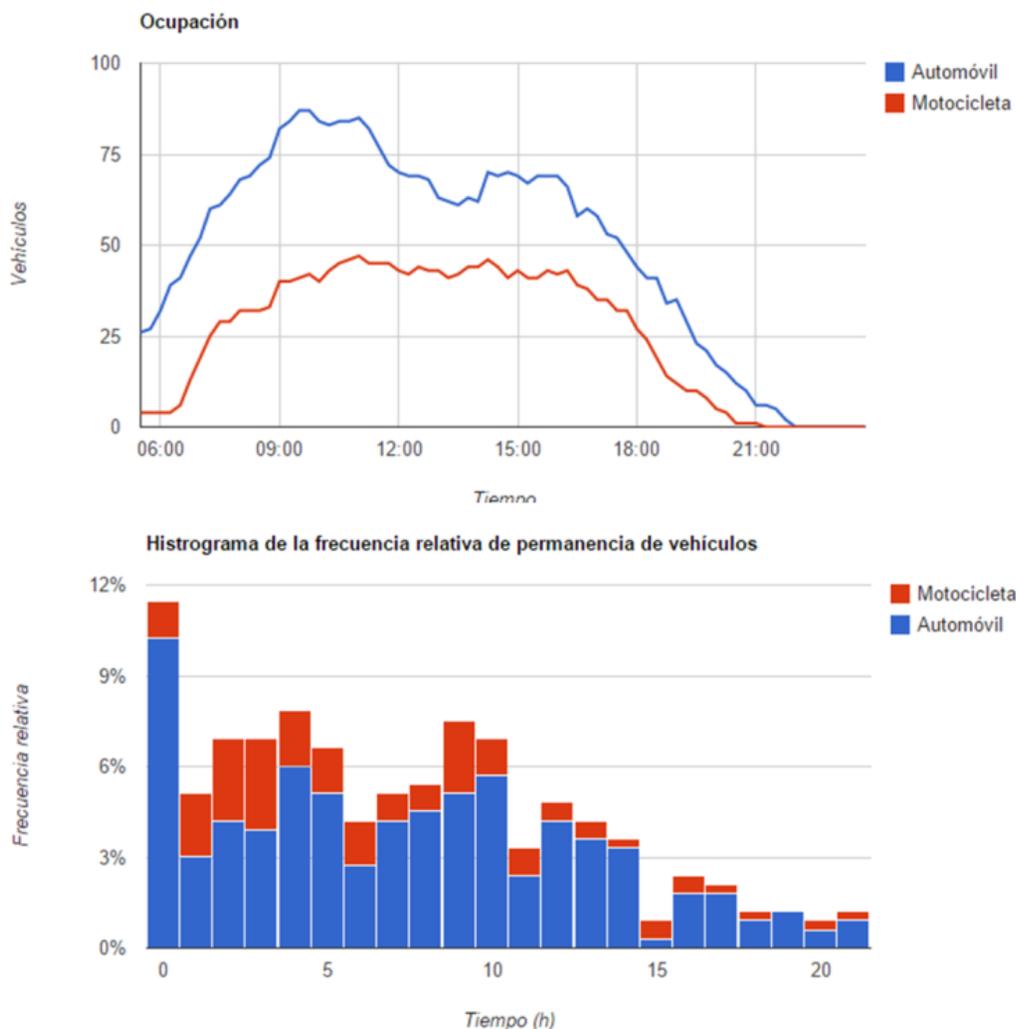
Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

Al comparar los resultados obtenidos con el estudio de movilidad realizado por la Universidad (Universidad Nacional de Colombia, 2014), los dos estudios revelan que el acceso, al ingreso, más utilizado por los usuarios del campus es la entrada de la carrera 45 o Uriel Gutiérrez, seguido por la calle 53 y por último la capilla; este mismo comportamiento se presenta en la preferencia de acceso a la salida de la Universidad.

Es importante mencionar que la portería de la Calle 53 es la única que permite el ingreso de vehículos visitantes al campus, es decir de personas que no hacen parte de los movimientos cotidianos de la Universidad.

Por otro lado, la Gráfica 3 ilustra la ocupación durante un día típico del campus universitario para automóviles y motocicletas que poseían el Tag, esto para un periodo en entre el 07 y 08 de Octubre de 2014; así mismo permite identificar la duración promedio de los vehículos por horas dentro de la Universidad.

**Gráfica 3 Permanencia en estacionamiento, Prueba Piloto Universidad Nacional**



Fuente: Proyecto Plataforma de Control Inteligente de Vehículos – Universidad Nacional de Colombia.

De igual forma que con los estudios anteriores, al comparar los resultados obtenidos con el Plan de Movilidad de la Universidad (Universidad Nacional de Colombia, 2014), éstos coinciden en que para la duración promedio de los vehículos, la mayoría de la población permanece dentro del campus entre 6 y 12 horas, seguidos por un periodo entre 1 y 3 horas.

Haciendo referencia a la ocupación, el periodo pico se encuentra entre las 11:00am y 12:00 del mediodía, presentando en este periodo el mayor número de vehículos dentro del campus.

## 5.2 Prueba Chía Cundinamarca

Para la prueba en el Municipio de Chía, y como se mencionó en el capítulo 4, numeral 0

El aforo manual se realizó el día 08 de Octubre del año 2014, con aforadores que ya habían trabajado en ensayos de tránsito y que previamente fueron capacitados para la toma de información

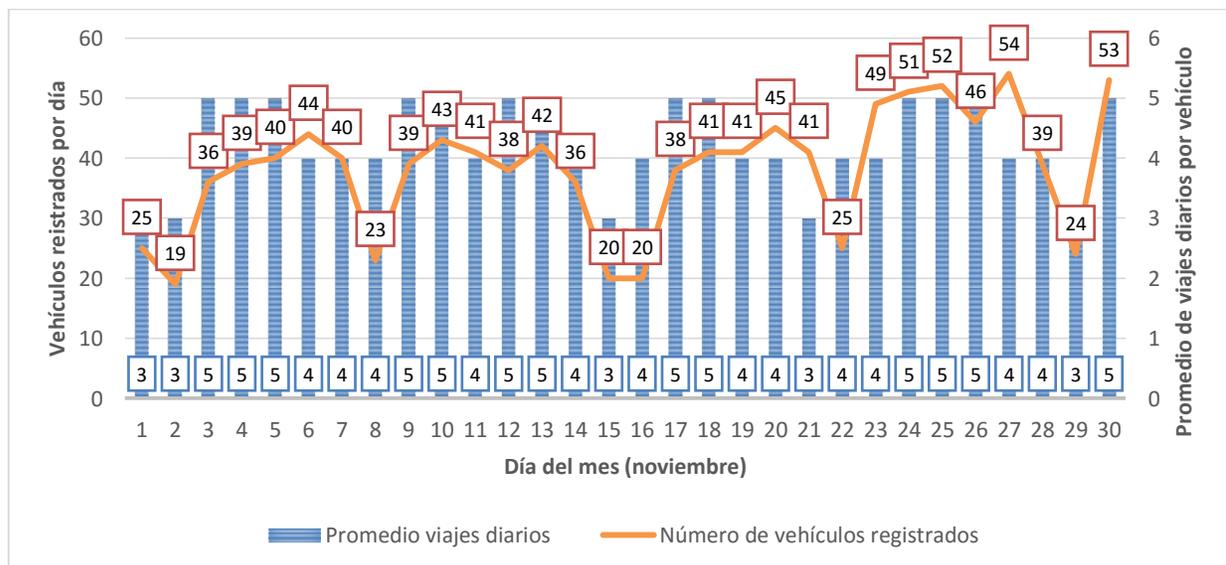
Prueba Piloto Chía – Cundinamarca el estudio en este Municipio está orientado a una ruta de transporte Inter Municipal que conecta el terminal de Chía con el “portal de la 170” del sistema Transmilenio, ubicado en la Autopista Norte de Bogotá. De acuerdo con la información recolectada, se presentan gráficas que presentan los comportamientos habituales del funcionamiento de esta ruta, de acuerdo con los requerimientos de información solicitados por la autoridad de Transito del Municipio.

Los datos analizados corresponden a la información recopilada en el mes de Noviembre del año 2015, para lo cual se tienen más de cinco mil quinientos (5,500) registros, de los cuales se presenta, a continuación, la información más relevante.

Para esto y con el objetivo de conocer la cantidad de viajes que realiza un vehículo al día –entiéndase viaje como el recorrido del vehículo entre el Terminal de Chía y el Portal de la 170 en Bogotá (ida y regreso) – se contabiliza el promedio de recorridos durante el mes de Noviembre para todos los vehículos a los cuales se les instaló un Tag.

De acuerdo con la Gráfica 4, los días típicos, es decir Martes, Miércoles y Jueves los Vehículos realizan entre cuatro (4) y cinco (5) viajes por día. Por otro lado, los días atípicos como el domingo, realizan tres (3) recorridos.

**Gráfica 4 Comportamiento Diario de viajes y vehículos – Mes de Noviembre**



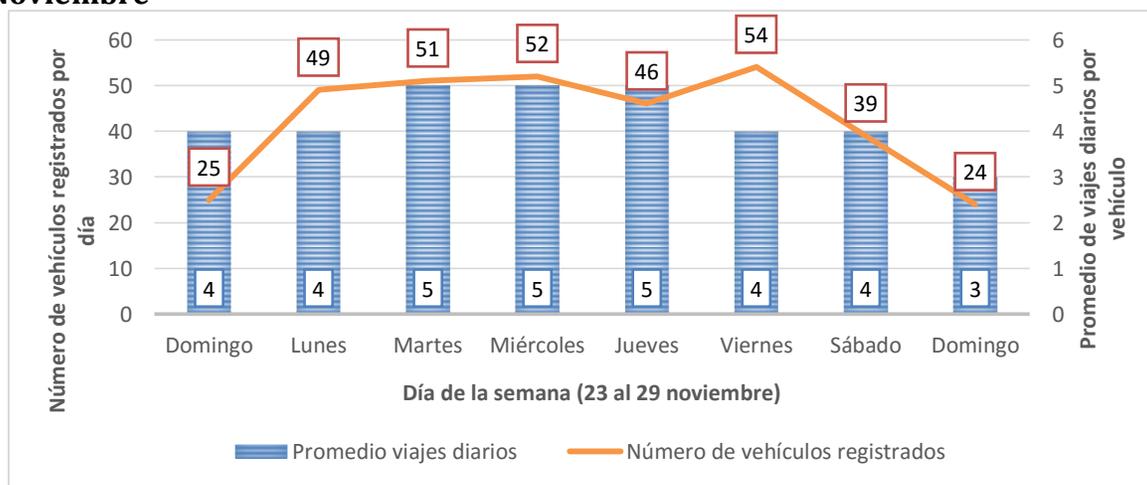
Fuente: Elaboración propia

De igual forma se puede evidenciar (en la Gráfica 4) que los días atípicos como el domingo, son menos los vehículos que trabajan en circulación de esta ruta; entre 19 y 25

vehículos realizan recorridos el día domingo mientras que en los días típicos el promedio de vehículos que realizan la ruta es de 38.

En cuanto al análisis por día de la semana (ver Gráfica 5), se puede evidenciar que los días que mayor número de viajes pueden realizar los buses es el martes, miércoles y jueves, días de movimiento típico de los usuarios de transporte público. Así mismo es posible identificar la frecuencia promedio de despacho de los vehículos en la ruta, para los días típicos esta frecuencia es de 4 minutos, cifra verificada con la información entregada por los despachadores de los vehículos en terminal, cuya frecuencia es de 3 minutos en la hora pico y 5 minutos en la hora valle.

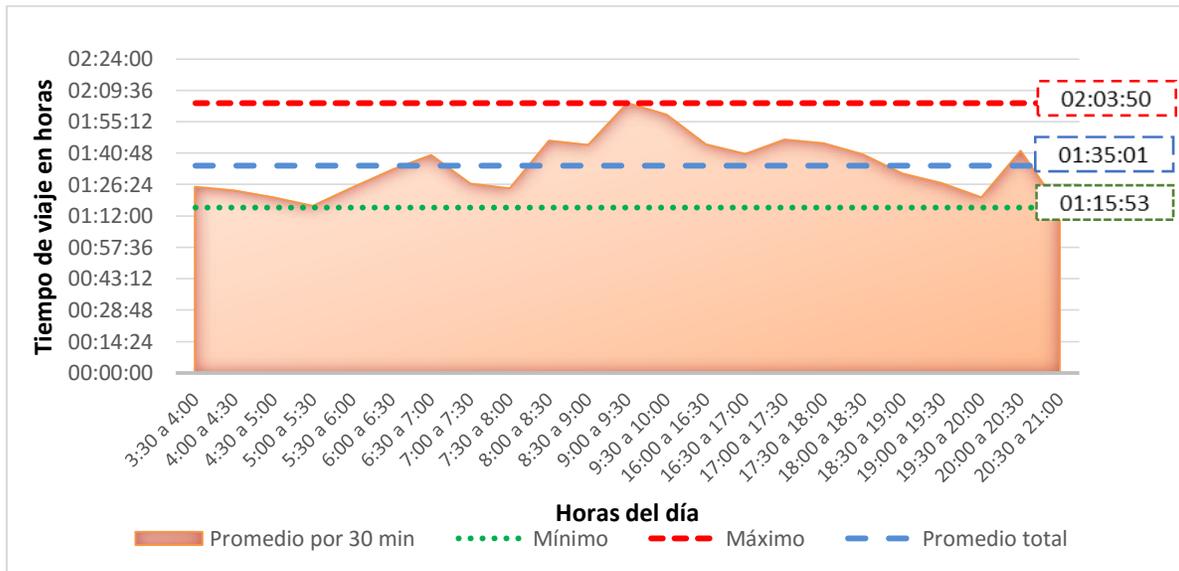
**Gráfica 5 Comportamiento Diario de viajes y vehículos – Semana de 23 al 29 de Noviembre**



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al tiempo que tarda un vehículo en realizar un viaje, la Gráfica 6 presenta el promedio de duración de los viajes, de acuerdo al análisis realizado para el mes de Noviembre. El tiempo promedio que tarda un vehículo en realizar el recorrido es de una hora y treinta y cinco minutos (01:35), lo que permite tener una velocidad promedio de viaje de 21,5 km/hora (el recorrido tiene una distancia de 34 km).

Entre los tiempos registrados, del promedio de los viajes para todos los días del mes de Noviembre, el mayor se obtuvo en la mañana entre las 09:00 y las 9:30 con un valor de dos horas y tres minutos (02:03); el valor mínimo registrado fue de una hora y quince minutos (01:15) en el periodo comprendido entre las 05:00 - 05:30 y las 20:30 a 21:00 horas.

**Gráfica 6 Tiempo promedio de Viaje – Mes de Noviembre**

Fuente: Elaboración propia

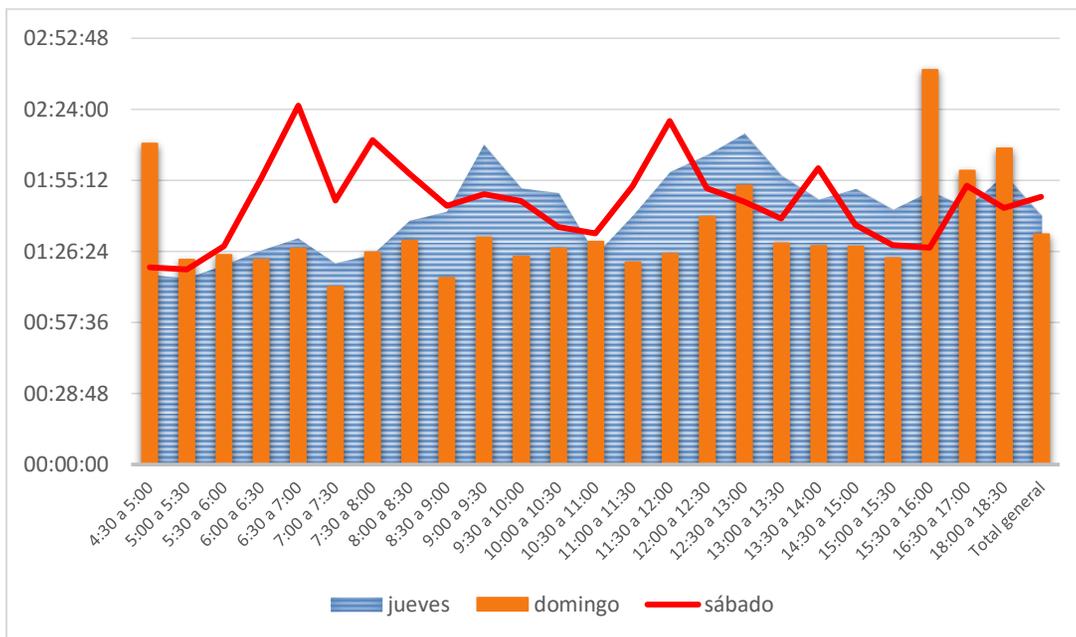
Al realizar el análisis de la información, se pudo evidenciar que la ruta tiene tres comportamientos diferentes a lo largo de los días de la semana, en decir, que el comportamiento no es convencional asociado a días típicos y atípicos, sino que se puede clasificar en cuatro diferentes grupos asociados así:

- Lunes y Viernes,
- Martes, Miércoles y Jueves,
- Sábados
- Domingos

Para estos días se tomaron todos los datos de viajes realizados de cada día, resaltando el promedio del tiempo de viaje, los valores máximos y los valores mínimos registrados a lo largo de las horas del día

La Gráfica 7 muestra el comportamiento promedio los días típicos (jueves), los sábados y los domingos. De esta forma se puede evidenciar la variación de las horas pico dependiendo del día de la semana, evidenciando un pico permanente los sábados en la mañana y los domingos en la tarde, horas en las que la congestión vehicular en el corredor de la ruta es muy fuerte.

**Gráfica 7 Tiempo de viaje promedio por días**

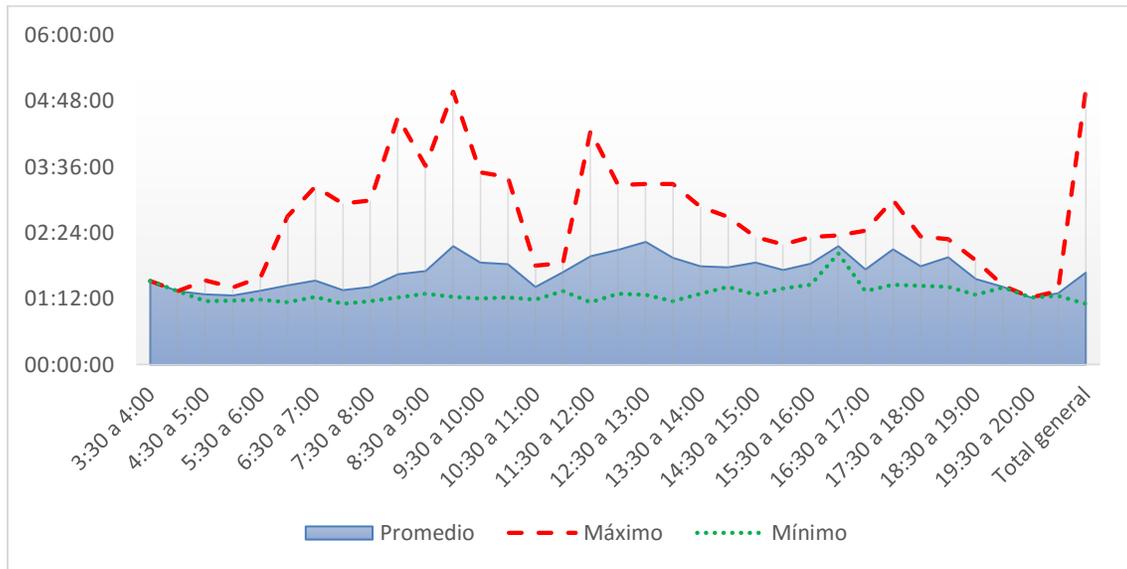


Fuente: Elaboración propia

Adicional a esto, se realizó un análisis para un día típico, en todos los días del mes, es decir, se tomaron los datos obtenidos de todos los días jueves del mes de Noviembre con el fin de ver el comportamiento de la operación de los buses en un día típico de la semana. La Gráfica 8 permite ver el tiempo que tarda un bus en realizar un viaje a lo largo del día, el promedio de los viajes no sobre pasa las dos horas, sin embargo hay datos atípicos del comportamiento de los buses, en el periodo de 7:00 am a 10:00am, esta hora coincide con el horario en el que la mayoría de los conductores se dirige a desayunar y por esta razón no vuelven al terminal al momento de terminar los recorridos.

Así mismo, la Gráfica 8 permite ver las horas pico de la mañana, al medio día y en la noche, representadas entre las 8:00 y 9:00 am, 12:00 y 01:00 pm y las 05:00 y 06:00pm.

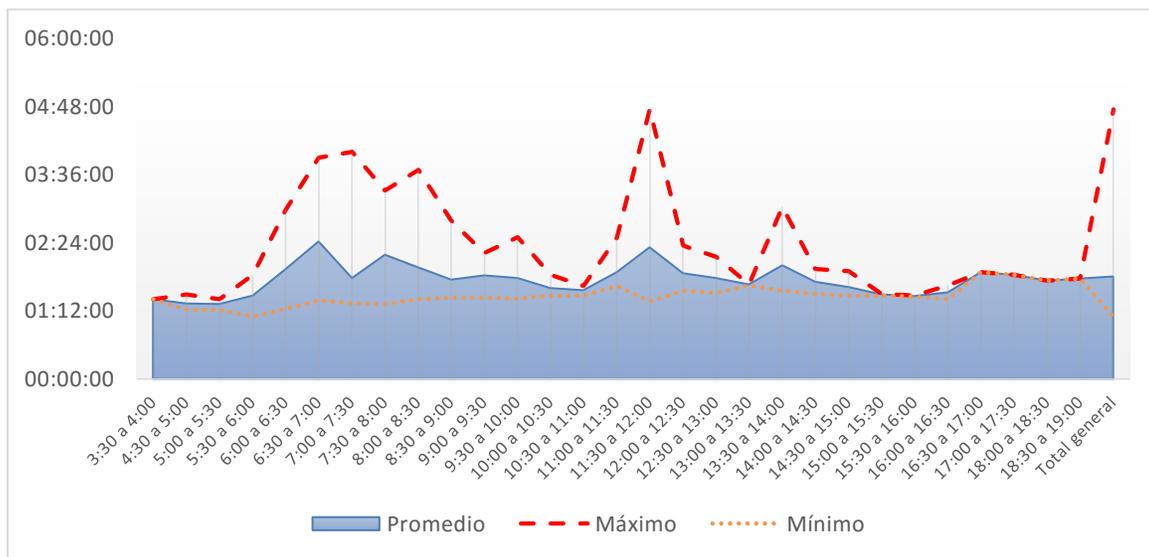
**Gráfica 8 Tiempo de viaje en día típico (Jueves)**



Fuente: Elaboración propia

Para los días sábados, de igual forma se tomaron todos los viajes realizados durante el mes de noviembre, para este día. En la Gráfica 9 se evidencia la hora pico de congestión a lo largo del periodo de la mañana entre las 6:00 y las 8:30 am, así como al medio día entre las 12:00 y las 12:30. En la tarde, el tiempo de viaje es constante y en promedio tarda una hora y treinta minutos (01:30).

**Gráfica 9 Tiempo de viaje en día atípico (Sábado)**

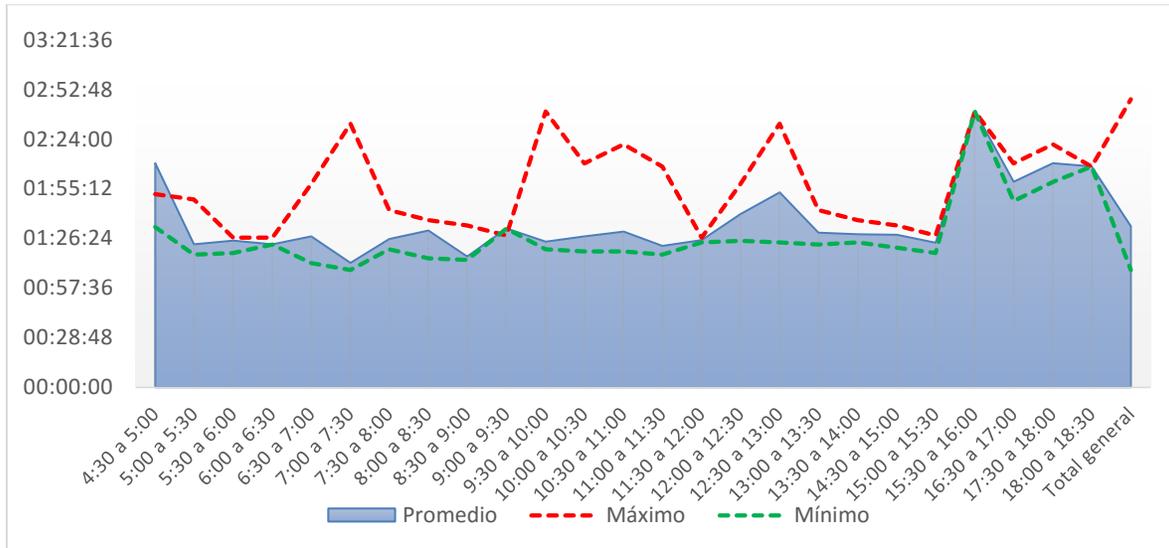


Fuente: Elaboración propia

Para el día domingo el comportamiento del tiempo de viaje de la ruta esta igualmente asociado al tráfico del corredor. Aunque el comportamiento es muy parecido a lo largo del día, entre las 04:00 y 06:00 de la tarde se presenta una conducta muy parecida entre los valores del promedio, máximos y mínimos, asociados a la congestión del corredor

utilizado por la población visitante de municipios aledaños a la ciudad de Bogotá, donde se realizan actividades deportivas, de ocio y turísticas este día de la semana. (ver Gráfica 9)

**Gráfica 10 Tiempo de viaje en día atípico (Domingo)**



Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Recolección de información manual vs RFID

Con el fin de realizar un análisis comparativo de las tomas de información de tránsito de manera tradicional, es decir mediante personal en campo, y con la tecnología RFID, a continuación se presentan tres puntos de vista diferentes asociados a variables escogidas para la comparación, dentro de las cuales están:

- Costos asociados a la toma de información.
- Recolección de datos
- Procesamiento de la información

#### 5.3.1 Costos asociados a la toma de información.

La toma de información en campo, manual y mediante la tecnología RFID requiere recursos económicos asociados a personal y equipos para desarrollar la labor.

Estos costos serán evaluados a continuación con el fin de estimar el tiempo en el cual los costos en cada una de las formas de recolección de información se igualan.

Para la toma de información manual hay gastos asociados al personal, a los materiales y suministros para el personal en campo y en oficina recolectando y procesando la información, de esta forma se obtiene un presupuesto de un día típico (24 horas), un día atípico (24 horas), una semana (7 días) y un mes (30 días). Este presupuesto se realiza

de forma separada para las pruebas realizadas en la Universidad Nacional con vehículos particulares y en el Municipio de Chía con buses intermunicipales.

**Tabla 7 Costos Toma de información Manual Prueba Universidad Nacional**

DIA TIPICO

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	8	16	\$ 4.500	\$ 576.000
Supervisores	2	16	\$ 5.000	\$ 160.000
Refrigerios	20		\$ 2.000,00	\$ 40.000
Materiales			Global	\$ 30.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 806.000</b>

NOCHE TIPICO

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	8	8	\$ 5.000	\$ 320.000
Supervisores	2	8	\$ 5.500	\$ 88.000
Refrigerios	10		\$ 2.000,00	\$ 20.000
Materiales			Global	\$ 15.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 443.000</b>
TOTAL DIA 24H				<b>\$ 1.249.000</b>

DIA ATIPICO

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	8	16	\$ 5.000	\$ 640.000
Supervisores	2	16	\$ 5.500	\$ 176.000
Refrigerios	20		\$ 2.000,00	\$ 40.000
Materiales			Global	\$ 30.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 886.000</b>

NOCHE ATIPICO

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	8	8	\$ 5.500	\$ 352.000
Supervisores	2	8	\$ 6.000	\$ 96.000
Refrigerios	10		\$ 2.000,00	\$ 20.000
Materiales			Global	\$ 15.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 483.000</b>
TOTAL DIA 24H				<b>\$ 1.369.000</b>

**VALOR TOMA DE INFORMACION**

<b>TOTAL DIA TIPICO 24H</b>	\$	1.249.000
<b>TOTAL DIA ATIPICO 24H</b>	\$	1.369.000
<b>TOTAL SEMANA 7D</b>	\$	8.863.000

<b>TOTAL MES 30D</b>	\$	35.452.000
----------------------	----	------------

**PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 24H**

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Ingeniero Proyecto	1	40	\$ 20.000	\$ 800.000
Auxiliares	2	40	\$ 10.000	\$ 800.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 1.600.000</b>

**PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN UNA SEMANA DE TOMA**

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Ingeniero Proyecto	1	160	\$ 20.000	\$ 3.200.000
Auxiliares	2	160	\$ 10.000	\$ 3.200.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 6.400.000</b>

**PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN UN MES DE TOMA**

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Ingeniero Proyecto	1	640	\$ 20.000	\$ 12.800.000
Auxiliares	2	640	\$ 10.000	\$ 12.800.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 25.600.000</b>

**VALOR PROCESAMIENTO INFORMACION**

<b>TOTAL DIA TIPICO 24H</b>	\$	1.600.000
<b>TOTAL DIA ATIPICO 24H</b>	\$	1.600.000
<b>TOTAL SEMANA 7D</b>	\$	6.400.000
<b>TOTAL MES 30D</b>	\$	25.600.000

**VALOR PROCESAMIENTO + TOMA DE INFORMACION**

<b>TOTAL DIA TIPICO 24H</b>	\$	2.849.000
<b>TOTAL DIA ATIPICO 24H</b>	\$	2.969.000
<b>TOTAL SEMANA 7D</b>	\$	15.263.000
<b>TOTAL MES 30D</b>	\$	<b>61.052.000</b>

Fuente: Elaboración propia con base en costos de la toma de información

En la Tabla 7 se encuentra el presupuesto de la toma de información manual realizada en el campus de la Universidad Nacional, este aforo se realizó en un solo día típico, pero fue proyectado con el fin de evaluar qué costo tendría si se realizara una toma de información de un mes continuo. Finalmente se obtuvo que un mes completo de prueba, 7 días a la semana, 24 horas del día, tiene un valor de **SESENTA Y UN MILLONES CINCUENTA Y DOS MIL PESOS (\$ 61.052.000 M/CTE)**

La Tabla 8 contiene el presupuesto de la toma de información manual para el Municipio de Chía de manera continua 30 días del mes, 24 horas cada día, al igual que se hizo para la prueba de la Universidad Nacional.

**Tabla 8 Costos Toma de información Manual Prueba Municipio de Chía**

DIA TIPICO				
Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	7	16	\$ 4.500	\$ 504.000
Supervisores	3	16	\$ 5.000	\$ 240.000
Refrigerios	20		\$ 2.000,00	\$ 40.000
Materiales	Global			\$ 30.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 814.000</b>
NOCHE TIPICO				
Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	7	8	\$ 5.000	\$ 280.000
Supervisores	3	8	\$ 5.500	\$ 132.000
Refrigerios	10		\$ 2.000,00	\$ 20.000
Materiales	Global			\$ 15.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 447.000</b>
TOTAL DIA 24H				\$ 1.261.000
DIA ATIPICO				
Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	7	16	\$ 5.000	\$ 560.000
Supervisores	3	16	\$ 5.500	\$ 264.000
Refrigerios	20		\$ 2.000,00	\$ 40.000
Materiales	Global			\$ 30.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 894.000</b>
NOCHE ATIPICO				
Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Aforadores	7	8	\$ 5.500	\$ 308.000
Supervisores	3	8	\$ 6.000	\$ 144.000
Refrigerios	10		\$ 2.000,00	\$ 20.000
Materiales	Global			\$ 15.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 487.000</b>
TOTAL DIA 24H				\$ 1.381.000
VALOR TOMA DE INFORMACION				
<b>TOTAL DIA TIPICO 24H</b>			\$	1.261.000
<b>TOTAL DIA ATIPICO 24H</b>			\$	1.381.000

<b>TOTAL SEMANA 7D</b>	\$	8.947.000
<b>TOTAL MES 30D</b>	\$	35.788.000

**PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 24H**

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Ingeniero Proyecto	1	40	\$ 20.000	\$ 800.000
Auxiliares	2	40	\$ 10.000	\$ 800.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 1.600.000</b>

**PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN UNA SEMANA DE TOMA**

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Ingeniero Proyecto	1	160	\$ 20.000	\$ 3.200.000
Auxiliares	2	160	\$ 10.000	\$ 3.200.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 6.400.000</b>

**PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN UN MES DE TOMA**

Concepto	Cantidad	Horas	Valor Unitario	Valor Total
Ingeniero Proyecto	1	640	\$ 20.000	\$ 12.800.000
Auxiliares	2	640	\$ 10.000	\$ 12.800.000
<b>Valor Total</b>				<b>\$ 25.600.000</b>

**VALOR PROCESAMIENTO DE INFORMACION**

<b>TOTAL DIA TIPICO 24H</b>	\$	1.600.000
<b>TOTAL DIA ATIPICO 24H</b>	\$	1.600.000
<b>TOTAL SEMANA 7D</b>	\$	6.400.000
<b>TOTAL MES 30D</b>	\$	25.600.000

**VALOR PROCESAMIENTO + TOMA DE INFORMACION**

<b>TOTAL DIA TIPICO 24H</b>	\$	2.861.000
<b>TOTAL DIA ATIPICO 24H</b>	\$	2.981.000
<b>TOTAL SEMANA 7D</b>	\$	15.347.000
<b>TOTAL MES 30D</b>	\$	<b>61.388.000</b>

Fuente: Elaboración propia con base en costos de la *toma* de información

En la Tabla 8 se encuentra el presupuesto de la toma de información manual para el Municipio de Chía, esto con el fin de obtener el costo de aforo de un mes continuo, el cual

es de **SESENTA Y UN MILLONES TRECIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL PESOS (\$ 61.388.000 M/CTE)**

Por otro lado, la toma de información con la tecnología RFID, tiene costos asociados a lectores, comunicaciones, instalación, soporte, mantenimiento, software, plataforma, energía, etiquetas, personal y campañas de expectativa. Al igual que la toma manual, a continuación se encuentra el presupuesto para la prueba de la Universidad Nacional, con valores asociados a un mes continuo de toma de información, teniendo en cuenta que los lectores y las etiquetas son adquiridos mediante la modalidad de compra y pueden ser utilizados por periodos de hasta 12 años.

**Tabla 9 Costos Toma de información con RFID para Prueba Universidad Nacional**

ITEM	COSTO FIJO	VALOR DIA	VALOR SEMANA (7 DIAS)	VALOR MES
Lector	\$ 2.800.000			
Comunicaciones		\$ 1.400	\$ 9.800	\$ 42.000
Instalación	\$ 300.000			
Soporte		\$ 10.556	\$ 73.889	\$ 316.667
Mantenimiento	\$ 2.500.000			
Software	\$ 2.000.000			
Plataforma		\$ 2	\$ 15	\$ 264
Energía		\$ 864	\$ 6.048	\$ 25.920
<b>Total 6 lectores</b>		<b>\$ 45.676.931</b>	<b>\$ 46.138.514</b>	<b>\$ 47.909.104</b>

PERSONAL MES				
Ingeniero transporte	\$ 2.000.000	\$ 100.000	\$ 500.000	\$ 2.000.000
Campaña de expectativa	\$ 1.200.000	\$ 60.000	\$ 300.000	\$ 1.200.000
Costos de instalación de TAGs	\$ 2.100.000	\$ 2.100.000	\$ 2.100.000	\$ 2.100.000
Social	\$ 3.500.000	\$ 175.000	\$ 875.000	\$ 3.500.000
Etiquetas (TAGs)	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000
<b>TOTAL LECTORES + PERSONAL</b>		<b>\$ 50.511.931</b>	<b>\$ 52.313.514</b>	<b>\$ 59.109.104</b>

En la Tabla 9 se encuentra el presupuesto de la prueba con RFID realizada en el campus de la Universidad Nacional, para un mes continuo de toma de información; por lo cual un mes completo de prueba, 7 días a la semana, 24 horas del día, tiene un valor de **CINCUENTA Y NUEVE MILLONES CINETO NUEVE MIL CIENTO CUATRO PESOS (\$59.109.104 M/CTE).**

**Tabla 10 Costos Toma de información con RFID para Prueba Municipio de Chía**

ITEM	COSTO FIJO	VALOR DIA	VALOR SEMANA (7 DIAS)	VALOR MES
Lector	\$ 3.800.000			
Comunicaciones		\$ 1.400	\$ 9.800	\$ 42.000
Instalación	\$ 300.000			
Soporte		\$ 13.889	\$ 97.222	\$ 416.667
Mantenimiento	\$ 2.500.000			
Software	\$ 2.142.857			
Plataforma		\$ 3	\$ 21	\$ 90
Energía		\$ 864	\$ 6.048	\$ 25.920
<b>Total 7 lectores</b>		<b>\$ 52.554.078</b>	<b>\$ 53.135.690</b>	<b>\$ 55.365.203</b>

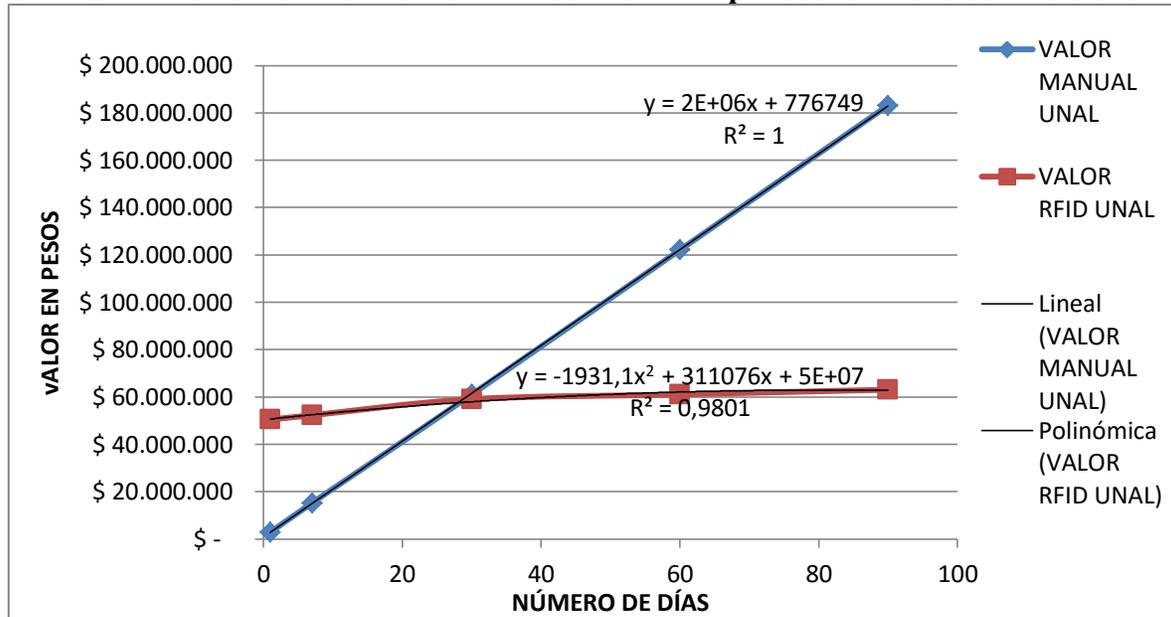
PERSONAL				
Ingeniero transporte	\$ 2.000.000	\$ 100.000	\$ 500.000	\$ 2.000.000
Campaña de expectativa	\$ 1.200.000	\$ 60.000	\$ 300.000	\$ 1.200.000
Costos de instalación de TAGs	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000	\$ 4.200.000
Social	\$ 3.500.000	\$ 175.000	\$ 875.000	\$ 3.500.000
Etiquetas	\$ 720.000	\$ 720.000	\$ 720.000	\$ 720.000
<b>TOTAL LECTORES + PERSONAL</b>		<b>\$ 57.809.078</b>	<b>\$ 59.730.690</b>	<b>\$ 66.985.203</b>

La Tabla 10 contiene el presupuesto de la toma de información con la tecnología RFID para el Municipio de Chía de manera continua 30 días del mes, 24 horas cada día, al igual que se hizo para la prueba de la Universidad Nacional. Por lo cual un mes completo de prueba, 7 días a la semana, 24 horas del día, tiene un valor de **SESENTA Y SEIS MILLONES NOVECIENTOS OCHENTA Y CINCO MIL DOSCIENTOS TRES PESOS (\$66.985.203 M/CTE)**.

El fin de obtener esta información es evaluar, en el tiempo, el punto en el que las dos metodologías de toma de información tendrían el mismo costo y analizar las líneas de tendencia. De acuerdo con los costos adquiridos anteriormente es posible conocer el número de días requerido para que los dos métodos coincidan en costos.

En la Gráfica 11 se pueden ver las líneas de tendencia de las dos metodologías. La toma de información manual tiene una gráfica de tipo lineal, es decir que los costos asociados aumentan de forma lineal con relación al tiempo, a diferencia de la toma de información con RFID la cual tiene una línea de tendencia polinómica, en donde los costos asociados crecen de ésta forma con respecto al tiempo; luego de los 30 días de toma de información, los costos de esta tecnología tienen un crecimiento mínimo comparado con la inversión inicial.

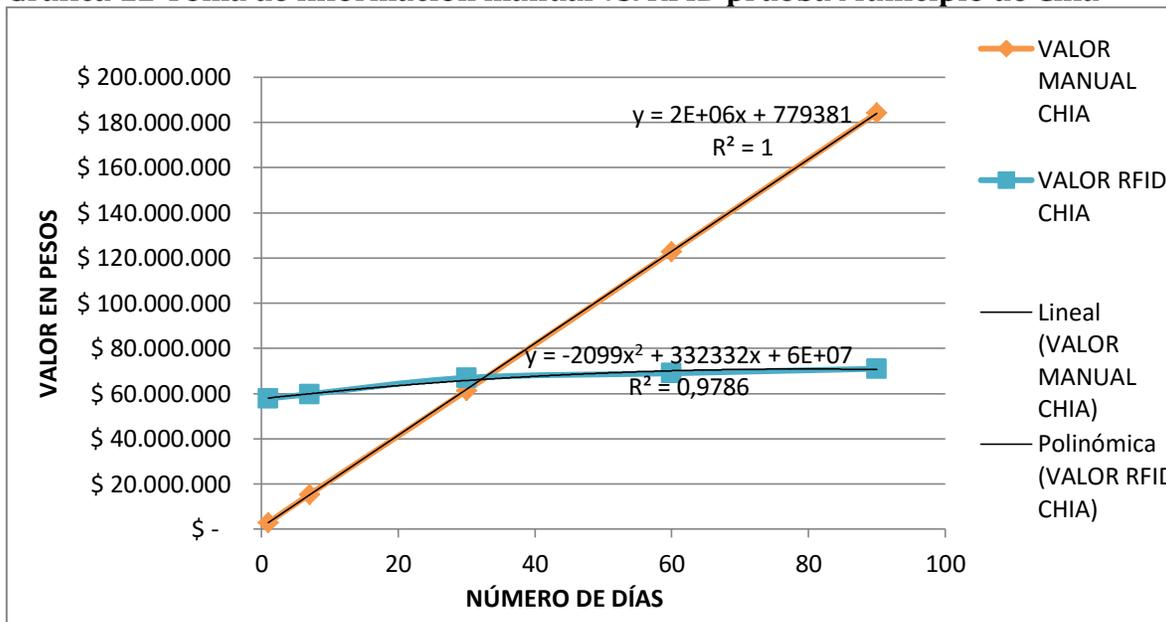
**Gráfica 11 Toma de información manual vs. RFID prueba Universidad Nacional**



Fuente: Elaboración propia

Así mismo se obtuvo la gráfica para la toma de información en el Municipio de Chía, con el fin de comparar los costos de las dos tomas de información las cuales tienen puntos geográficos diferentes, etiquetas distintas, variación de la cantidad del personal requerido, diferentes valores de instalación y trámites, diferentes costos de traslado, entre otros. La Gráfica 12 permite obtener de la misma forma las líneas de tendencia de las gráficas asociadas a las dos metodologías.

**Gráfica 12 Toma de información manual vs. RFID prueba Municipio de Chía**



Fuente: Elaboración propia

Al agregar líneas de tendencia a las gráficas obtenidas de tiempo vs costos, se obtienen las ecuaciones de las gráficas, que al ser igualadas, permiten obtener el valor exacto en días para el cual las dos metodologías tienen el mismo valor.

En la Tabla 11 se encuentra el número de días para los cuales los costos de las dos metodologías de toma de información son iguales.

**Tabla 11 Número de días para costos iguales metodología manual vs RFID.**

Prueba Universidad Nacional			Prueba Municipio de Chía		
VALOR DE X (Días)	MANUAL	RFID	VALOR DE X (Días)	MANUAL	RFID
28	\$ 57.243.389	\$ 57.243.389	34	\$ 68.882.626	\$ 68.882.626

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la prueba en la Universidad Nacional, el número de días en el cual se igualan los costos es de veintiocho (28), a partir de este momento el crecimiento de la toma de información manual es muy elevado en comparación con la metodología RFID, teniendo en cuenta que este último crece de manera polinomial, mientras que la metodología manual crece en forma lineal.

Así mismo la prueba realizada en el Municipio de Chía, iguala costos el día treinta y cuatro (34) de toma de información continua, y de la misma manera que en la prueba anterior, el crecimiento de los costos asociados a la toma de información manual tiene

un crecimiento de manera lineal, mientras que la toma mediante la tecnología RFID crece de manera polinomial.

### 5.3.2 Recolección de datos

Con el fin de relacionar la efectividad de la recolección de datos, mediante las dos metodologías de tomas de información, en la prueba de la Universidad Nacional se realizó simultáneamente un aforo vehicular de la manera convencional (como se ha venido mencionando – Ver 4.1.2 Validación Manual). Esta prueba manual tiene las mismas características de la toma de información con la tecnología RFID, es decir, que las personas que tomaban la información estaban situadas en el mismo lugar de ubicación de los lectores y recolectaban la información de todos los vehículos que ingresaban y salían del campus, mencionando adicionalmente si el vehículo tenía o no Tag.

De esta forma se realizó un análisis general y por cada portería del porcentaje de datos que cada lector recopilaba, comparado con la toma de información manual. Para esto se digitaron los datos, se analizaron y compararon con cada registro del lector RFID, verificando la hora de paso del vehículo, la placa, si según el aforador tenía Tag y si se encontraba registrado en el sistema.

De acuerdo con el análisis, existen siete casos posibles de empalme de la información, asociados a la deficiencia o eficiencia de: el sistema, la recopilación y digitación de la información de los Tags instalados (caso de error humano identificado en el numeral 4.3.2.1 Instalación de Tags) o del aforador (error del factor humano), que se encuentran contenidos en la Tabla 12.

**Tabla 12 Casos de recolección de información**

	Clasificación		Tipo de caso
<b>Eficiencia del Sistema RFID</b>	1	Eficiencia Sistema / Eficiencia Aforador	Aforador registró TAG, Sistema RFID detectó TAG
	2	Eficiencia Sistema / Deficiencia Aforador	Aforador No registró TAG, Sistema RFID detectó TAG
	3	Eficiencia Sistema / Deficiencia Aforador	Aforador No registró Vehículo, Sistema RFID detectó TAG
	4	Eficiencia Sistema / Deficiencia instalación / Deficiencia Aforador	Aforador No vio TAG, Placa no registrada en base, Sistema RFID detectó TAG
<b>Error del Sistema RFID</b>	5	Deficiencia del Sistema / Deficiencia instalación	Aforador registró TAG, Placa no registrada en base, Sistema RFID No detectó
	6	Deficiencia Sistema / Deficiencia Aforador	Aforador No registró TAG, Sistema RFID No detectó TAG
	7	Eficiencia Aforador / Deficiencia Sistema	Aforador Registro TAG, Sistema RFID No detectó TAG

Fuente: Elaboración propia

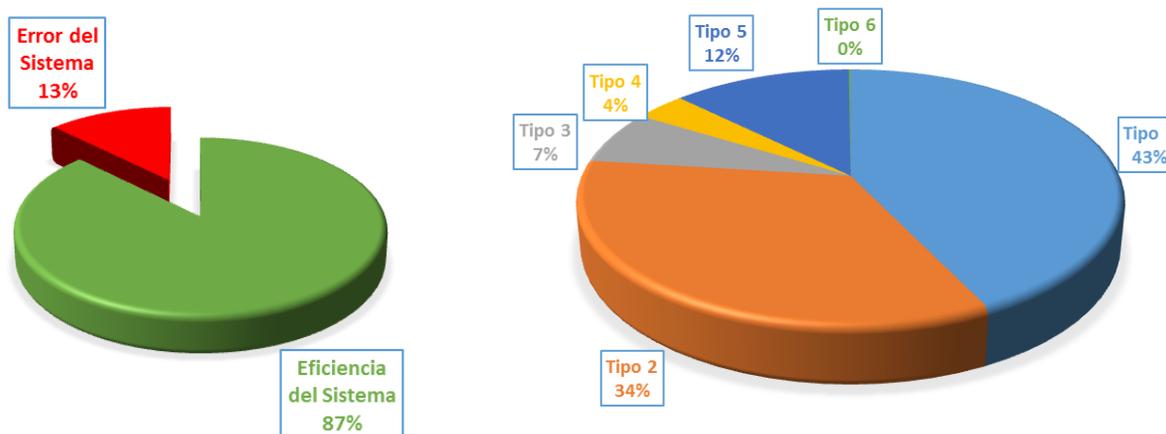
*Nota: Para el análisis de la información, el caso 7 no es tenido en cuenta debido a que existen otros tipos de TAG utilizados para el acceso a residencias privadas o estacionamientos, que fueron asociados por los aforadores en el registro de la información.*

Con base en la información recopilada, se realizó un análisis minucioso de cada registro de la toma manual comparado con cada registro recolectado por los lectores RFID, que permite comparar la eficiencia en la recolección de datos, de cada una de las metodologías.

De esta forma se obtuvieron gráficas que permiten ver la eficiencia y el error del sistema RFID y de la toma de información manual de acuerdo con la clasificación de la Tabla 12, analizando todos los tipos de casos encontrados.

La Gráfica 13 presenta la eficiencia general de todos los lectores pertenecientes al sistema RFID instalados en las porterías de entrada y salida del campus de la Universidad Nacional, sede Bogotá, en donde se puede ver que en total, el sistema tiene una eficiencia del 87%. Así mismo se puede ver porcentaje de error humano, que reúne el caso tipo 2, 3, 4 y 6, para este caso es del 44%. Es importante mencionar que aunque de alguna manera es admisible que los aforadores no vieran un que un vehículo tenía Tag, se puede comprobar mediante las lecturas el porcentaje de vehículos que no fueron registrados por los aforadores que para todo el ensayo fue del 7%, un total de 53 vehículos.

**Gráfica 13 Eficiencia General del sistema**



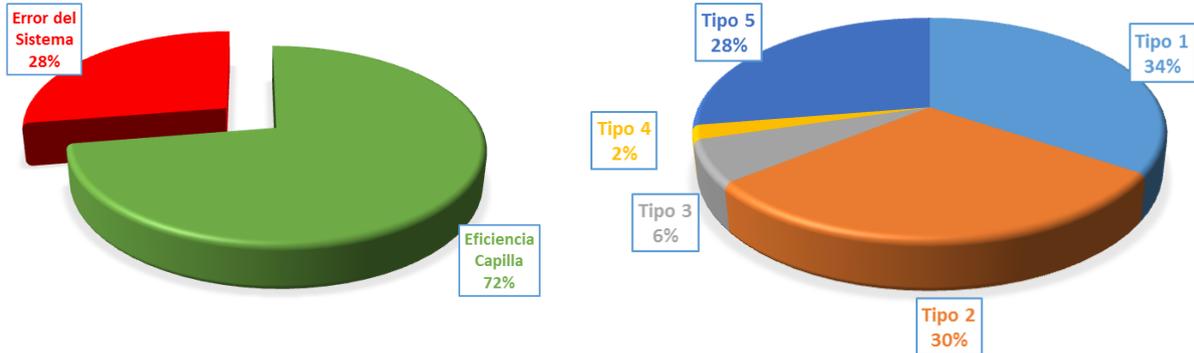
Fuente: Elaboración propia

De manera detallada se realizó el análisis para cada portería y para cada lector relacionado a la entrada o a la salida; cada ingreso tenía una persona que registraba los datos en la toma de información manual y en las horas de máxima demanda las porterías de la Calle 53 y de la Cra 45 tenían dos personas registrando la información.

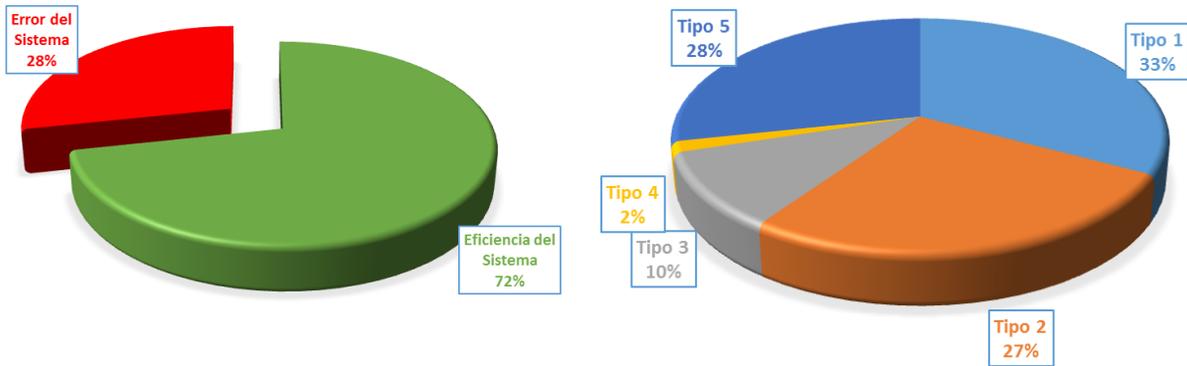
En la portería de la Capilla (ver Gráfica 14), la eficiencia del sistema fue del 72% y los vehículos que no fueron registrados por los aforadores fueron nueve (9), siete (7) en la

portería de entrada y dos (2) en la portería de salida; sin embargo el porcentaje de error humano en toda la portería es del 38%,

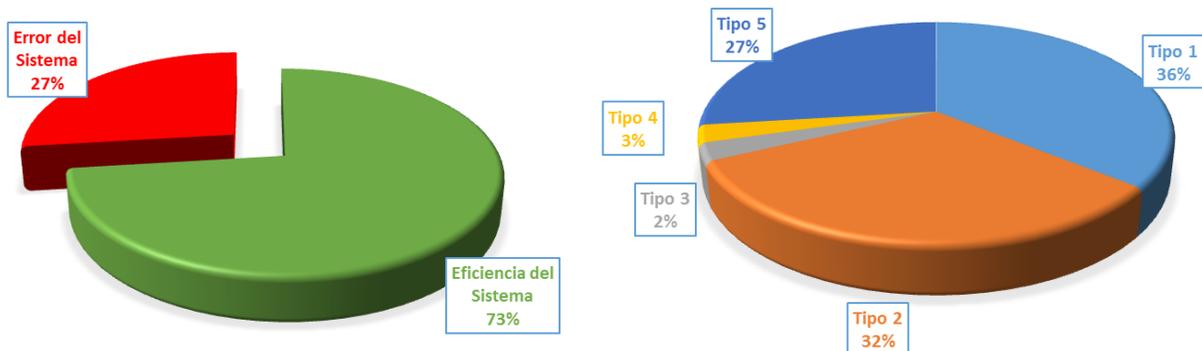
**Gráfica 14 Portería Capilla**



**Lector de entrada**



**Lector de salida**

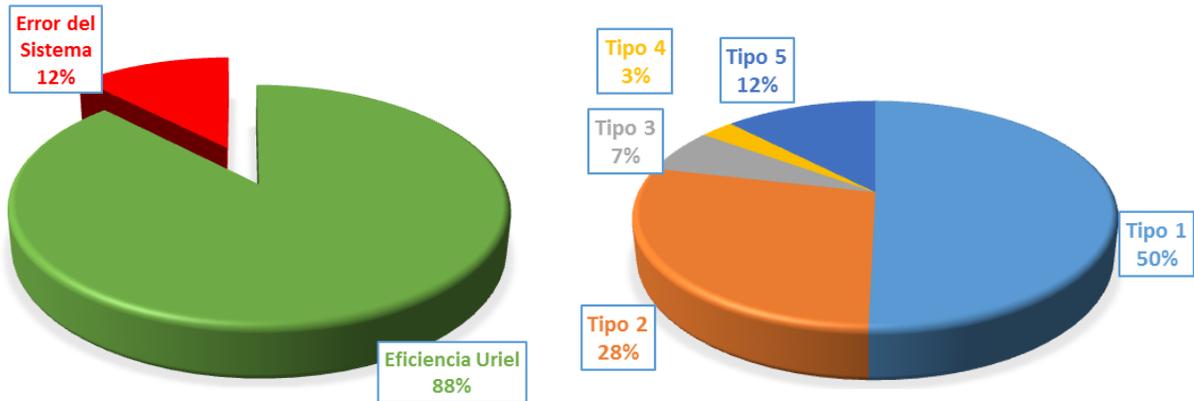


Fuente: Elaboración propia

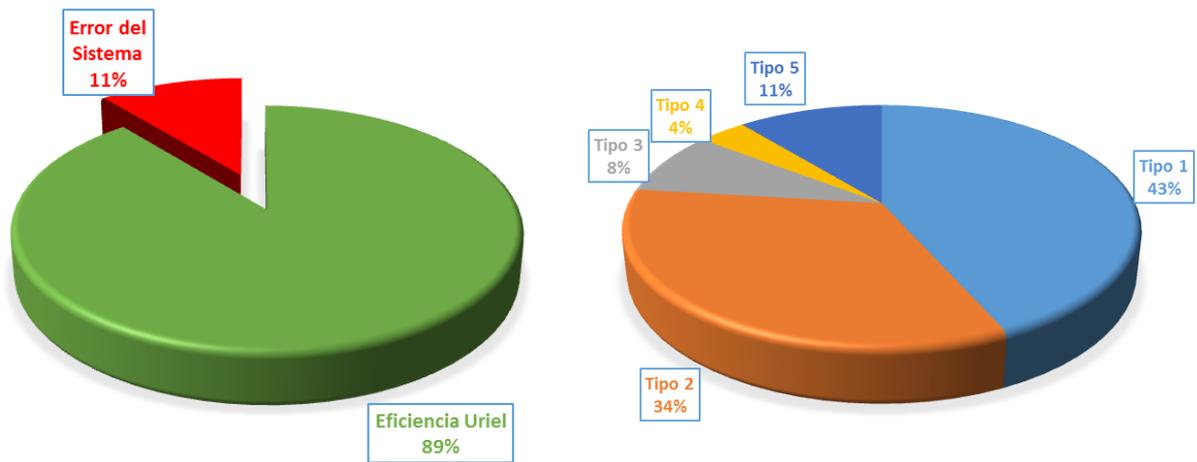
En el caso de la portería de la Cr 45 o Uriel Gutiérrez, presentada en la Gráfica 15, la eficiencia del sistema fue del 88%, mientras que los aforadores tienen un error del 37%. Para el error asociado al caso tipo 3, los aforadores no registraron veintiséis (26) vehículos, veintiuno (21) a la entrada y cinco (5) a la salida.

El lector de la entrada tuvo una eficiencia del 80% mientras que el lector de la salida, tuvo una eficiencia del 86%.

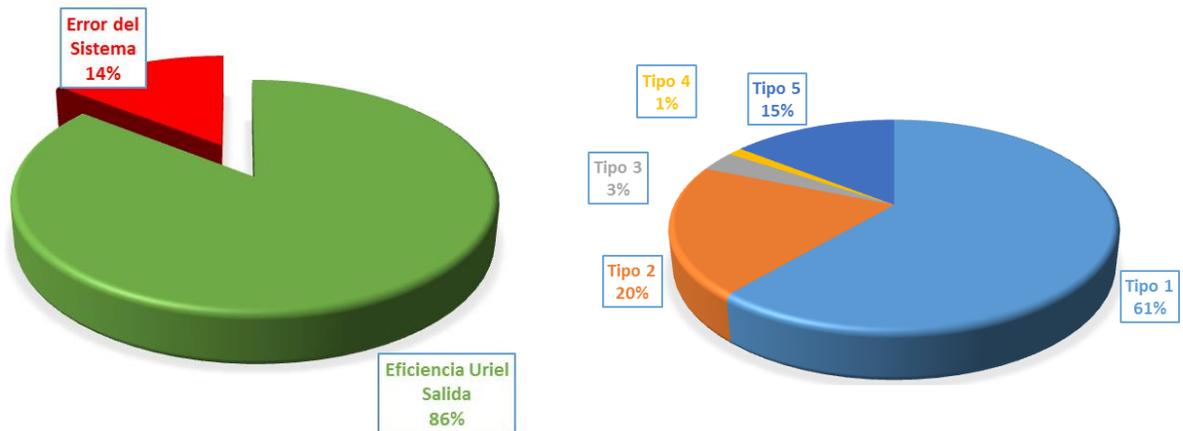
**Gráfica 15 Portería Uriel Gutiérrez**



**Lector de entrada**



**Lector de salida**

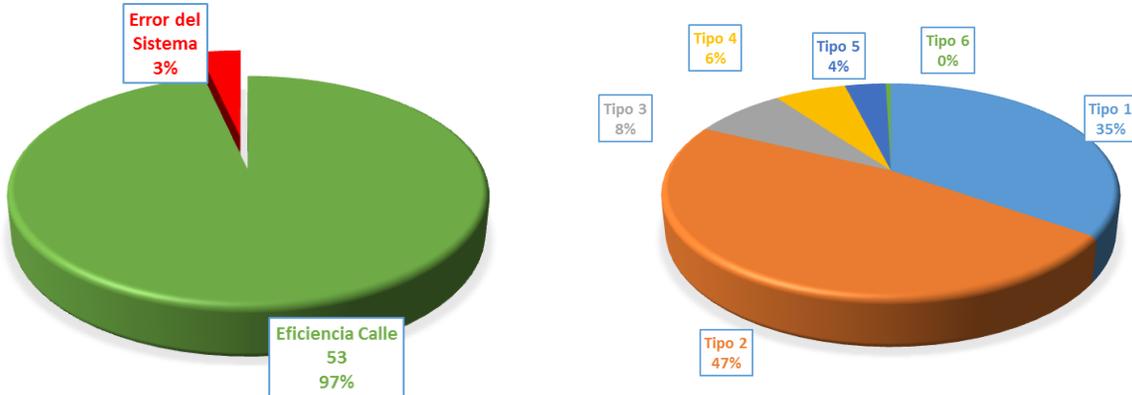


Fuente: Elaboración propia

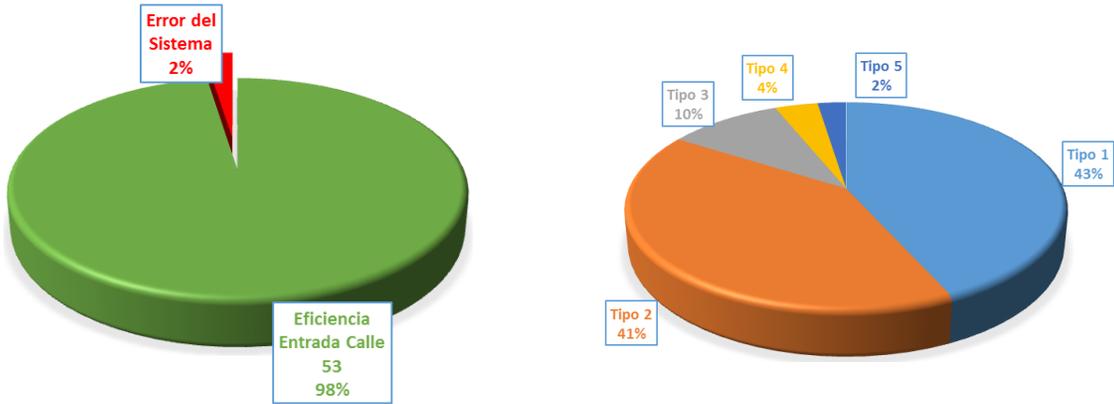
Para el caso de la portería de la Calle 53 (ver Gráfica 16), la eficiencia del sistema es del 97%, siendo esta la de mejor efectividad en toda la prueba, variable asociada al punto de transmisión de datos y a que las antenas se encontraban más cerca de los vehículos y con una mayor amplitud.

En esta portería, los aforadores no registraron 18 vehículos, ocho (8) a la entrada y diez (10) a la salida. Los errores asociados a los casos 2, 3,4 y 6 representan un valor del 62%. Finalmente el lector que mejor funciono en toda la prueba es el de la entrada de la Calle 53 con una efectividad del 98%.

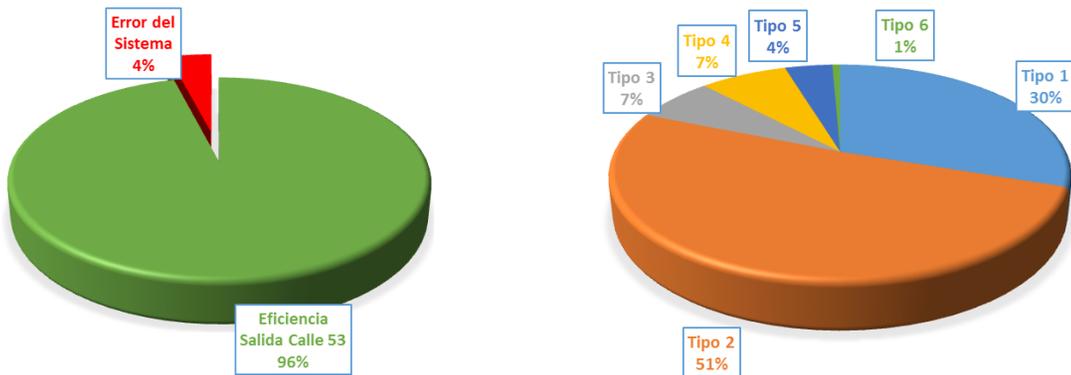
**Gráfica 16 Portería Calle 53**



**Lector de entrada**



**Lector de salida**



Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 Procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información, en acompañamiento con estudiantes de pregrado de Ingeniería de sistemas, se desarrolló una aplicación web que puede ser consultada desde cualquier dispositivo móvil. A través de ella pueden verse los resultados en tiempo de real de la información que se está detectando por los lectores, esto para cada ensayo diseñado para la Universidad Nacional y el Municipio de Chía.

Es así como la aplicación permite realizar consultas para la toma de información de volúmenes vehiculares, matriz origen destino y estacionamientos (permanencia y ocupación).

Para cada uno de los ensayos es posible elegir el periodo horario en el cual se desea hacer la consulta, el intervalo de minutos en los cuales se quiere consultar los volúmenes vehiculares, el lector o los lectores que se desea ver y la clase de vehículo, escogiendo uno o varios y viéndose de manera discriminada y total en cada ensayo.

La Figura 17 muestra la interfaz de la aplicación para la prueba de la universidad nacional, presentando las diferentes opciones del software.

**Figura 17 Interfaz de Consulta Aplicación PCIV - UNAL**

The screenshot displays the PCIV application interface with the following components:

- Navigation Bar:** PCIV, Estadísticas, Descargar lecturas, Estadísticas de los lectores, Lectores, Lecturas, Etiquetas, Parqueaderos, knfigueroan@unal.edu.co
- Volúmenes Panel:**
  - Zona: Campus UN
  - Desde: 15/11/2016 00:00
  - Hasta: 16/11/2016 00:00
  - Intervalo (min): 15
  - Grupos: 4
  - Lector: Ninguna
  - Clases de vehículos: Ninguna
  - Consultar button
- Matriz origen destino Panel:**
  - Zona: Campus UN
  - Desde: 15/11/2016 00:00
  - Hasta: 16/11/2016 00:00
  - Consultar button
- Ocupación Panel:**
  - Zona: Campus UN
  - Desde: 15/11/2016 00:00
  - Hasta: 16/11/2016 00:00
  - Intervalo (min): 15
  - Ocupación inicial: (dropdown)
  - Clases de vehículos: Ninguna
  - Consultar button

Fuente: <https://master-dot-colciencias622.appspot.com/#volumes:>

Adicional a esto es posible descargar las lecturas en cualquier periodo de tiempo que se requiera, ver las estadísticas del funcionamiento de los lectores, consultar cuales lectores están o no conectados, verificar el número de lecturas por día – por lector-y el número de etiquetas leídas por día por lector. Todo esto con el fin de observar y analizar el comportamiento del sistema desde cualquier lugar y a través de cualquier dispositivo, solo teniendo un usuario con acceso a la red.

Para el caso de la prueba en el Municipio de Chía se creó una aplicación con todas las características de la prueba de la Universidad y se adicionó una pestaña que permite hacer el control de la ruta, en donde puede verse la placa del vehículo, la empresa a la que está asociado y la hora y fecha en la que el vehículo pasa por cada lector. (ver Figura 18).

Las dos aplicaciones pueden consultarse en los siguientes links, teniendo en cuenta que para su acceso hay que tener un nombre de usuario autorizado en el sistema:

- Sistema Unal: [:Master-dot-colciencias622.appspot.com](https://Master-dot-colciencias622.appspot.com)
- Sistema Chia: [colciencias622.appspot.com](https://colciencias622.appspot.com)

**Figura 18 Interfaz de Consulta Aplicación PCIV - CHÍA**

The screenshot shows the 'Control de rutas' interface. On the left, there are filters for 'Zona' (Chía), 'Ruta' (Chía - Portal Calle 170), 'Desde' (11/11/2015 00:00), and 'Hasta' (20/11/2015 00:00). A 'Consultar' button is at the bottom. The main area displays a table of vehicle readings with columns for 'Empresa', 'Vehículo', 'Salida - Terminal de Chía', 'Salida - Avenida Pradilla Cra 3', 'Salida - Avenida Pradilla con Variante', 'Entrada - Avenida Pradilla Cra 3', 'Entrada - Secretaría de Transito', 'Entrada - Calle 17 Con Cra 9', and 'Entrada - Terminal de Chía'. A 'Duración (min)' tooltip shows 0.5673. The table lists several vehicles with their respective times and distances.

Empresa	Vehículo	Salida - Terminal de Chía	Salida - Avenida Pradilla Cra 3	Salida - Avenida Pradilla con Variante	Entrada - Avenida Pradilla Cra 3	Entrada - Secretaría de Transito	Entrada - Calle 17 Con Cra 9	Entrada - Terminal de Chía
1,190	Valvanera SKZ657	0 m	2095 m	29696 m	31193 m	516 m	291 m	30754 m
		2015-11-18 07:07	+02:14	+66:46	+01:50	+01:04	+04:04	
1,191	Valvanera USE605	2015-11-18 07:11	+10:50	+02:53	+55:47	+01:44	+00:56	+03:48
1,194	Valvanera SMD350	2015-11-18 07:21	+10:13	+03:26	+51:32	+01:28	+01:11	+04:05
1,197	Valvanera SKY788	2015-11-18 07:28	+11:29	+03:24	+51:34	-:-	+02:44	+07:04
1,202	Valvanera USC592	2015-11-18 07:34	+13:38	+01:44	+52:57	+01:25	+00:34	+04:04
1,204	Valvanera SQW794	2015-11-18 07:39	+11:43	+03:32	+55:22	+01:04	-:-	+04:44
1,207	Valvanera SQI911	2015-11-18 07:48	+11:22	+03:20	+51:15	+01:12	+01:22	+04:05

Fuente: <https://colciencias622.appspot.com/#route-control>:

En el caso de las tomas de información manual, es posible obtener todo el procesamiento que realiza la aplicación, sin embargo este procesamiento requiere de un tiempo que para solo un día de información tarda alrededor de una semana y un número de personas e ingenieros (que pueden verse en el numeral 5.3.1 Costos asociados a la toma de información.). Cabe mencionar que la aplicación para el Municipio de Chia hoy en día es consultada por las autoridades de tránsito del Municipio.

Es por esta razón que el procesamiento mediante una aplicación asociada a la recolección de información mediante RFID provee garantías en temas de confiabilidad y obtención del procesamiento de la información en tiempo real.

## 6 Conclusiones y Recomendaciones

Este documento es el resultado de la investigación hecha sobre la aplicación de la tecnología RFID en estudios de tránsito y transporte, específicamente volúmenes vehiculares, estacionamientos, Matriz O-D y control de flota. A partir de la información recopilada, las tomas de información realizadas y el análisis de los datos obtenidos, a través de esta investigación se puede concluir y recomendar lo siguiente:

### 6.1 Conclusiones

Las conclusiones de este documento están asociadas a cada capítulo de la investigación que a su vez obedece al cumplimiento de cada uno de los objetivos del trabajo.

En primer lugar se relaciona el análisis cuantitativo como una metodología de fácil uso que permite realizar consultas de manera ordenada sobre temas específicos de interés. Para este trabajo, fue una herramienta que permitió abarcar y conocer un gran número de artículos y prácticas relacionadas con las tomas de información vehicular y la aplicación de la tecnología RFID en diferentes campos de la ciencia.

Debido a su reconocimiento y accesibilidad fueron escogidos tres (3) de los buscadores académicos más relevantes, teniendo en cuenta su capacidad de abarcar grandes cantidades de información. En términos generales el motor de búsqueda que más aportó a este análisis fue Microsoft Academic Search™, con 8.620 artículos relevantes en las diferentes temáticas solicitadas. Éste buscador permite identificar autores, realizar análisis geográficos y búsquedas avanzadas según palabras clave de tipo mandatorio y sinónimos; Google Scholar™ arrojó 6.902 y ScienceDirect™ 6.079.

Los conceptos claves buscados arrojaron un panorama interesante en términos de la oferta de información de RFID. A pesar de que esta búsqueda se centró en RFID aplicado a la toma de información en tránsito, se encontraron otras aplicaciones de RFID que lo hacen el tema con más artículos asociados (10.416), la toma tradicional de información en tránsito arrojó 3.192 resultados, los estudios de estacionamientos arrojaron 2.384 resultados, matrices origen-destino (2.164) y conteos vehiculares (1.776).

En cuando a la información recopilada relacionada con las diferentes metodologías de toma de información vehicular se tiene que los conteos manuales son el método más común de toma de información del tránsito, pero puede llegar a ser muy costoso ya que emplea grandes recursos humanos. Sin embargo es de gran utilidad cuando es requerida

una clasificación separada de tipos de vehículo o movimientos direccionales en el caso de intersecciones específicas.

Dentro de los conteos vehiculares mecánicos o automáticos se encontraron diferentes tecnologías dentro de las cuales se destacan los tubos neumáticos, los circuitos de inducción, los sensores de “Peso-en-movimiento” los cuales son: las placas de flexión, las bandas capacitivas, los tapates capacitivos y los cables eléctricos; los detectores tipo radar y las cámaras de video.

Investigaciones han demostrado que cuando el número de vehículos por hora es mayor de 2000 es recomendable utilizar un sistema automático para evitar el error. Los conteos manuales se consideran precisos hasta un volumen de 1000 vehículos por hora y aceptables entre 1000 y 2000. De igual forma se recomienda tener estaciones permanentes de conteo vehicular (mediante conteo automático) cuando el número de éstos sobre pasa los 2000veh/hora.

Con base en la revisión literaria sobre los diferentes estudios de tránsito y sus respectivos enfoques metodológicos de la caracterización precisa de las diferentes variables de oferta y demanda de los estacionamientos se encontraron autores que han realizado investigaciones al respecto, por ejemplo Goyal, S. (1978) Monteiro, L. (1983) y Donoso, I. (1984) orientan sus estudios al análisis de zonas de estacionamiento cerradas, específicamente en campus universitarios. El enfoque de estos autores busca resolver un problema de optimización, es decir, disminuir la distancia total de caminata de los usuarios desde el lugar de estacionamiento hasta su destino. Rayman, N. (1981) y Gercans, R. (1984) analizan la influencia de sistemas de información geográfica dinámicos y multivariados, que permiten a los usuarios conocer las zonas donde se presenta disponibilidad de estacionamiento en tiempo real, minimizando las consecuencias de la demanda excedente y el tiempo de búsqueda de parqueadero. Codd, J. (1983), intenta predecir las necesidades de estacionamientos en grandes centros comerciales, a partir de modelos de generación relacionados con las características de los usuarios (tasa de motorización, nivel de ingreso, entre otros). Gant voort. J. Th. (1984) realiza un estudio para determinar los impactos positivos y negativos para la movilidad debido a la clausura de cupos de estacionamiento. Bunster, J. (1987) desarrolla una metodología para evaluar la necesidad de aumentar la oferta de estacionamientos en áreas urbanas, mediante el uso de una matriz de entradas y salidas de la misma área urbana. Santana, A. (1989) propone un método de predicción del uso de espacios disponibles en un área cerrada, en función del tiempo de duración promedio del estacionamiento.

Lo anterior, claramente refleja la necesidad de información precisa en términos de la oferta y la demanda de estacionamientos. Entre las dos variables de estacionamientos la que presenta mayor grado de dificultad para ser caracterizada en campo es la demanda, en especial en zonas abiertas donde se tiene una red con varias entradas y salidas, razón

por la cual la aplicación de métodos automáticos de detección y evaluación de la operación de los estacionamientos es necesaria.

En cuanto a matrices de O-D en intersecciones puntuales o en redes cerradas (Por ejemplo en Campus Universitarios) se han venido trabajando diferentes métodos de aforo: registro de placas, entrevista a un lado o método del aforo vehicular, etiquetas en el vehículo, tarjetas postales al conductor, cuestionario a población objetivo (censo), ascenso y descenso (transporte público), aforos vehiculares y GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

En segundo lugar se encuentra el análisis de las diferentes aplicaciones de la tecnología RFID en diferentes áreas de la ciencia y la investigación, destacando los componentes principales de esta tecnología los cuales son las etiquetas o TAG's, los lectores y las plataformas de comunicación. De acuerdo con la literatura encontrada, la tecnología ha sido implementada en la detección de animales, aviación, construcción de edificaciones, manejo de materiales de construcción, procesos de fabricación de vestuario, control de salubridad en alimentos, salud, servicios de bibliotecas, logística y control de la cadena de suministro, minería, control de residuos en Ciudades y Municipios, museos y ventas al por menor.

Varios autores coinciden en que la tecnología RFID puede ser la que mayor crecimiento tenga en términos de alcance para la próxima generación que implemente los “negocios inteligentes” y ha sido llamada a ser una de las grandes contribuciones del siglo XXI.

De acuerdo con la literatura encontrada, se analizaron varias investigaciones que relacionan la aplicación de la tecnología RFID en estudios de tránsito y transporte dentro de los cuales se destaca el instituto Nacional de Tecnología Durgapur en India, el cual plantea mediante una investigación, la arquitectura de un sistema inteligente de control de tráfico para una intersección típica. El departamento de ingeniería eléctrica y de sistemas de la facultad de ingeniería de la Universidad Internacional Islámica de Malasia (IIUM), el cual realizó una investigación donde se describe el uso de dos sistemas que buscan mejorar la gestión de estacionamientos. La primera utiliza Tag's pasivos de RFID y la segunda utiliza un sistema de cámaras que identifica la placa del vehículo. Y la Universidad de Southwest Jiaotong en China, que mediante su departamento de Transporte y Logística, desarrolló un estudio que propone un algoritmo predictivo, del tiempo real de viaje de un bus, mediante el uso de la tecnología RFID y un sistema de GPS.

Adicional a esto se encuentra el sistema SINIAV (Sistema Automático de Identificación de Vehículos) basado en la tecnología de identificación por Radio Frecuencia, compuesto por Tag's o placas de identificación instalados en los vehículos, antenas de lectura, plantas de procesamiento y sistemas informáticos para su uso en todo el territorio de Brasil. El sistema SINIAV tiene varias aplicaciones prácticas que representan un avance significativo para los sistemas inteligentes de transporte utilizados para la vigilancia y el control del tráfico, dentro de las cuales se encuentra la organización del tránsito, la

vigilancia electrónica, la seguridad frente a robos, su uso en las empresas privadas de transporte y el seguimiento a vehículos de carga

Para la integración de los sistemas de identificación de vehículos en estudios de tránsito y transporte en Colombia, a pesar de que ya se han realizado investigaciones y aplicaciones sobre los sistemas inteligentes de transporte, la tecnología RFID aborda dos problemas funcionales de la implementación de este tipo de sistemas, los cuales a menudo comprometen la viabilidad de los mismos. Estos son, en primer lugar, la escalabilidad del sistema, problema que se ataca desde una perspectiva innovadora mediante el uso de una plataforma de procesamiento basada en cloud computing (término inglés). En segundo lugar se considera el efecto que un ambiente electromagnético complejo (en el que intervienen un vehículo en movimiento, sus pasajeros, etc.) pueda tener sobre el desempeño del subsistema RFID, problema que se aborda mediante el uso de herramientas avanzadas de simulación electromagnética.

En tercer lugar, en las pruebas desarrolladas en la Universidad Nacional y el Municipio de Chía, fueron instalados lectores en puntos estratégicos de toma de información, y etiquetas en los vehículos que accedieron a contribuir con la investigación. El acompañamiento de personas profesionales en el ámbito social fue primordial para tener acceso a las comunidades, así como el diseño de una campaña que diera a conocer los objetivos de la investigación. En las dos pruebas fue posible realizar la recolección de datos por más de 30 días calendario de manera continua, las 24 horas del día.

Para la recolección de la información de los vehículos al momento de la instalación de los Tag's, es importante reducir al máximo el error humano, por lo que se hace imperativo el uso de aplicaciones que minimice el riesgo de errores asociados a la digitación de la información.

La toma de información realizada en la Universidad Nacional permitió conocer los parámetros globales de comportamiento de los vehículos que ingresan al campus, como horas pico de entrada y salida, permanencia de los vehículos dentro del campus, horarios de mayor ocupación, porterías más utilizadas para la entrada y la salida, entre otros.

En cuanto a la toma de información realizada en el Municipio de Chía, la instalación de los lectores y de los Tag tomo más tiempo del esperado debido a la cantidad de permisos que debieron solicitarse referentes a acometidas eléctricas, obras civiles, instalación de lectores, acompañamiento de la secretaria de Movilidad, aceptación y rechazo de los conductores de la ruta de transporte público, acceso a redes de internet, entre otros.

En el Municipio de Chía, fueron instalados 7 lectores en el trayecto de la Ruta dentro del Municipio, y esta información permitió conocer el comportamiento de la ruta a lo largo de sus recorridos, analizando el número de vehículos que realizan la ruta al día- en los diferentes días de la semana-, el promedio de viajes realizados por cada vehículo en un día, el tiempo promedio de un viaje a lo largo de las horas del día, en los diferentes días

de la semana (realizando un análisis específico para los días jueves, sábado y domingo), las horas pico de la ruta, entre otros.

Finalmente se realizó un análisis comparativo de las tomas de información de tránsito de manera tradicional, es decir mediante personal en campo, y con la tecnología RFID, desde el punto de vista de los costos asociados a la toma de información, la recolección de datos y el procesamiento de la información.

Para los costos asociados se obtuvo que para el caso de la prueba en la Universidad Nacional, el número de días en el cual se igualan los costos de una toma manual con una toma de información mediante la tecnología RFID es de veintiocho (28) días y que a partir de este momento el crecimiento de la toma de información manual es muy elevado en comparación con la metodología RFID, teniendo en cuenta que este último crece de manera polinomial, mientras que la metodología manual crece en forma lineal.

Así mismo la prueba realizada en el Municipio de Chía, iguala costos el día treinta y cuatro (34) de toma de información continua, y de la misma manera que en la prueba anterior, el crecimiento de los costos asociados a la toma de información manual tiene un crecimiento de manera lineal, mientras que la toma mediante la tecnología RFID crece de manera polinomial.

En cuanto a la recolección de datos la eficiencia general de todos los lectores pertenecientes al sistema RFID instalados en las porterías de entrada y salida del campus de la Universidad Nacional, sede Bogotá, el sistema tiene una eficiencia del 87%. Así mismo se obtuvo el porcentaje de error humano que para este caso es del 44%. Es importante mencionar que aunque de alguna manera es admisible que los aforadores no vieran un que un vehículo tenía Tag, se puede comprobar mediante las lecturas el porcentaje de vehículos que no fueron registrados por los aforadores que para todo el ensayo fue del 7%, un total de 53 vehículos.

Los lectores que mejor funcionaron fueron los de la portería de la Calle 53, con una eficiencia del sistema del 97%, siendo esta la de mejor efectividad en toda la prueba, variable asociada al punto de transmisión de datos y a que las antenas se encontraban más cerca de los vehículos y con una mayor amplitud.

Por último y en relación con el procesamiento de la información, se realizó (con el acompañamiento de estudiante de Ingeniería de Sistemas) una aplicación mediante la herramienta Google app Engine, que permite realizar consultas en tiempo real para la toma de información de volúmenes vehiculares, matriz origen destino, estacionamientos (permanencia y ocupación) y control de flota. Adicional a esto es posible descargar las lecturas en cualquier periodo de tiempo que se requiera, ver las estadísticas del funcionamiento de los lectores, consultar cuales lectores están o no conectados, verificar el número de lecturas por día – por lector- y el número de etiquetas leídas por día por lector. Todo esto con el fin de observar y analizar el comportamiento del sistema desde cualquier lugar y a través de cualquier dispositivo, solo teniendo un usuario con acceso a

la red. Cabe mencionar que la aplicación para el Municipio de Chía hoy en día es consultada por las autoridades de tránsito del Municipio.

En el caso de las tomas de información manual, es posible obtener todo el procesamiento que realiza la aplicación, sin embargo este procesamiento requiere de un tiempo que para un solo día de información tarda alrededor de una semana y un número de personas e ingenieros digitando y analizando los datos. Es por esta razón que el procesamiento mediante una aplicación asociada a la recolección de información mediante RFID provee garantías en temas de confiabilidad y obtención del análisis de la información en tiempo real.

## 6.2 Recomendaciones

En Colombia las mediciones de parámetros de tránsito y transporte se realizan mediante una metodología clásica manual que tiene limitaciones de completitud de datos, confiabilidad y oportunidad las cuales pueden ser mitigadas a través del uso de los SIT (Sistemas Inteligentes de Transporte). Por tal razón las mediciones en tránsito y transporte requieren la masificación del uso de tecnologías como la RFID para la obtención de información continua y confiable en el tiempo, lo cual conlleva a una relación positiva costo-beneficio a mediano y largo plazo.

Para una planeación sustentada del tránsito y transporte se hace imperativo la obtención de información oportuna y de calidad que se convierta en una herramienta para la toma de decisiones. De igual forma, las tecnologías se hacen inherentes en los sistemas de tránsito y transporte de la actualidad en un abanico amplio de posibilidades desde la programación de un semáforo hasta el control de operación de flota de un sistema masivo de transporte público de pasajeros.

Se hace axiomático el hecho de que el tránsito y transporte es un campo multidisciplinario, sin embargo en Colombia la exploración y aplicación del apoyo de herramientas electrónicas y tecnológicas no ha sido de la misma trascendencia que el apoyo de áreas como la ingeniería civil, la economía, la ingeniería industrial, la ingeniería ambiental y el derecho, entre otras.

En cuanto a la aplicación de la tecnología RFID en estudios de tránsito y transporte la prueba piloto permite identificarla como una alternativa viable, confiable, oportuna y completa para la realización de este tipo de estudios. Sin embargo, es importante resaltar que para usar la tecnología RFID en un área delimitada o específica se hace necesario que todos los vehículos posean la etiqueta (Tag) para que los resultados absolutos del estudio puedan tener influencia directa en la toma de decisiones o en la planeación.

En el caso de la prueba piloto de la Universidad Nacional se hizo una muestra que determinaba el número de Tag necesarios por estacionamiento en el campus, debido a la estrategia social que permitía en primera instancia observar la reacción de los usuarios a usar el sistema, la cual cabe mencionar fue muy positiva, pero esta muestra solo permite tener resultados que observan parámetros de comportamiento y no los volúmenes representativos del Universo de la población.

Se recomienda de esta forma la realización de pruebas con la tecnología RFID, en futuras investigaciones, analizando su uso en estudios como la medición de velocidades, cobros electrónicos de peajes, acceso o restricción a zonas de control vehicular, control de vehículos en pico y placa., control de documentos del vehículo (Comparendos, revisiones técnico mecánicas, DIJIN, entre otros), tarjetas de operación de vehículos de transporte público colectivo e individual, niveles de Servicio y densidades vehiculares de tramos de vía, clasificación vehicular y composición del tráfico, determinación de tasas de

crecimiento a partir de series históricas, determinación de factores de estacionalidad horaria, diaria, semanal y mensual y detección de infracciones, entre otros.

Por último, la tecnología RFID, permite realizar estudios continuos todos los días de la semana dando lugar al análisis del comportamiento de lunes a domingo, procedimiento que no es posible realizar con un estudio de toma manual, a causa de los costos que una toma de información de este tipo requiere.

## 7 Bibliografía

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1998). *Manual de planeación y diseño para la administración de Tránsito y Transporte, Tomo I marco conceptual Seguridad vial. pag 4-17*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1998). *MANUAL DE PLANEACIÓN Y DISEÑO PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL TRÁNSITO Y EL TRANSPORTE*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte* .
- Biblioteca del Campus de Vicálvaro. (31 de Octubre de 2012). *bibliotecavic.wordpress.com*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <https://bibliotecavic.wordpress.com/2012/10/31/microsoft-academic-search-mas-que-un-buscador/>
- Bocanegra López, H. L. (2005). *Estimación de una Matriz OD a partir de aforos vehiculares*. México D.F.: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Botswana Roads Department - Ministry of Works and Transport. (2004). *Traffic Data Collection and Analysis*. Gaborone, Botswana: Ministry of Works and Transport.
- Brigard y Urrutia. (2011). *Colombia. un país de oportunidades*.
- Comisión Nacional del Agua. (2004). *Guía Identificación de Actores Clave*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015, de CONAGUA: [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Chang, S.-L., Chen, L.-S., Chung, Y.-C., & Chen, S.-W. (2004). Automatic license plate recognition. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 42-53.
- Chattaraj, A., Bansal, S., & Chandra, A. (s.f.). Intelligent Traffic Control System using RFID. *ECE Department, NIT Durgapur, Burdwan, WB, India*.
- DANE. (2005). *Censo 2005 DANE*. Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Planeación. (2010). *CONPES 3677 CONPES DE MOVILIDAD INTEGRAL PARA LA REGIÓN CAPITAL BOGOTÁ* -. Bogotá D.C.
- Eckfeldt, B. (2005). *What does RFID do for the consumer?* Communications of the ACM.
- Fernández, A. R. (s.f.). Applications for wireless sensor networks: tracking with.
- Hauslen, R. (1977). The promise of automatic vehicle identification. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 30-38.

- Jesús, J. D., & Maza, M. V. (s.f.). RFID para la Logística Intermodal: Aplicación en el sector del transporte.
- Kern, C. (2004). *Radio-frequency-identification for security and media circulation in libraries*. The Electronic Library.
- Kim, M., & Chong, N. Y. (2009). Direction sensing rfid reader for mobile robot navigation. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 6(1):44–54.
- Ko, C.-H. (2009). Rfid-based building maintenance system. *Automation in Construction*, .
- Li, X., Han, J., Lee, J.-G., & Gonzalez, H. (s.f.). Traffic Density-Based Discovery of Hot Routes in Road Networks.
- Lin, S.-S., Hung, M.-H., & Ding-Rong. (2009). Development of a rfid-based missile assembly and test management system. *Journal of Chung Cheng Institute of Technology*, 37(1):185–195.
- Mokhaled M. Mohammed, I. M. (2011). Vehicle Clamping and Alternative Parking Management and Control Systems . *2011 4th International Conference on Mechatronics* .
- Nambiar, A. N. (2009). RFID Technology: A Review of its Applications. *World Congress on Engineering and Computer Science*, 1.
- Ngaia, E., Moon, K. K., Riggins, F. J., & Yi, C. Y. (2008). RFID research: An academic literature review (1995–2005) and. *International Journal of Production Economics*, 510-520.
- Oca, J. A., Izquierdo, A. S., & Collado, J. C. (s.f.). Control de estacionamiento es superficie usando la metodología multiagente y tecnología RFID.
- Olivares, I. E. (s.f.). Estacionamiento automatizado con tecnología RFID.
- Ruiz, A. F. (s.f.). RFID para el control de vehículos en áreas de tráfico restringido.
- Torrent, D. G., & Caldas., C. H. (2009). Methodology for automating the identification and localization of construction components on industrial projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(1):3–13.
- Torres Salinas, D., Ruiz Pérez, R., & Delgado López, E. (2010). “Google Scholar: ¿una herramienta para la evaluación de la Ciencia?”. *Anuario ThinkEPI*, 254-257.
- Universidad de Sonora. (2000). *Aplicaciones de estudios de ingeniería de tránsito*. Hermosillo, México: Universidad de Sonora.
- Universidad Nacional de Colombia. (2014). *PLAN INTEGRAL DE MOVILIDAD PARA EL CAMPUS DE LA SEDE BOGOTÁ-UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*. Bogotá D.C.
- Xinghao, S., Jinga, T., Guojun, C., & Qichong, S. (2013). Predicting bus real-time travel time basing on both GPS and RFID data . *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96 .

**ANEXO 1 PROTOCOLO DE TRABAJO FINAL DE  
MAESTRÍA**