



**Tarea 3 – Análisis de
comparación de
tecnologías para el
Recaudo Electrónico
Vehicular**

Julio de 2013

Tabla de Contenidos

Introducción.....	4
Estado actual de las tecnologías para peajes electrónicos en Colombia.....	6
Estado de las tecnologías para peajes electrónicos en otros países	9
Estados Unidos.....	9
América Latina	10
Londres (cobros por congestión).....	11
Descripción de tecnologías	12
ISO 18000-6C	12
Características Generales	12
Características Técnicas.....	13
Casos de Aplicación	14
Costos de inversión.....	14
Proveedores.....	16
CEN DSRC	17
Características Generales	17
Características Técnicas.....	17
Casos de Aplicación	19
Costos de inversión.....	19
Proveedores.....	20
Costos operativos para tecnologías de radiofrecuencia.	21
ALPR	23
Características Generales	23
Características Técnicas.....	24
Casos de Aplicación	25
Costos de inversión.....	25
Costos operativos	26
Proveedores.....	27
Resumen	28

Evaluación de tecnologías 29

Criterio 1: Estándar abierto.	31
Criterio 2: Seguridad.	31
Criterio 3: Confiabilidad de lectura.....	33
Criterio 4: Casos de implementación a nivel mundial.	33
Criterio 5: Casos de implementación en Colombia.	33
Criterio 6: Existencia de múltiples proveedores en Colombia.	34
Criterio 7: Costos de la unidad a bordo.	34
Criterio 8: Costos de la infraestructura.	34
Criterio 9: Costos de mantenimiento.	34
Criterio 10: Costos operativos relacionados al procesamiento en backoffice.	35
Criterio 11: Tiempos de desarrollo adicionales.	35
Resumen de la evaluación:	36

Conclusiones: 37

Introducción

En el primer informe y con base en la experiencia del consultor, se identificaron las tecnologías adoptadas a nivel mundial para proyectos de peajes electrónicos o cobros por congestión; estas tecnologías son:

- Tecnología de radiofrecuencia en la banda de los 5.8GHz (CEN-DSRC)
- Tecnología de radiofrecuencia en la banda de 915MHz (ISO 18000-6C)
- Tecnología de identificación óptica de caracteres mediante cámaras (ALPR/ANPR, por sus siglas en inglés)

El presente informe busca llevar a cabo un análisis de estas tecnologías a la luz de los requerimientos tecnológicos para proyectos REV en Colombia.

Nota: Si bien existe otra tecnología que podría utilizarse para identificar vehículos como lo es un sistema de satélites tipo GNSS (GPS) en conjunto con la red celular, este no se incluye en el análisis debido a que los costos de estos sistemas, tanto de inversión como operativos, son considerablemente más altos que las tres tecnologías que si se evalúan. Adicionalmente, operativamente estos sistemas no han podido solucionar la problemática de “puntos ciegos”, en ambientes de ciudad.¹

Para esto, se propone dividir el informe en 4 secciones:

1. Presentación de casos de estudio de la aplicación de tecnologías de REV a nivel mundial

En esta sección se hará una breve descripción de casos a nivel mundial en los que se utilicen tecnologías para peajes electrónicos o cargos por congestión. Esta sección busca identificar la problemática e identificar la solución tecnológica adoptada.

2. Descripción de las tecnologías para REV.

Esta sección hará una descripción técnica, operativa y financiera de cada una de las tecnologías mencionadas, con el objetivo de tener criterios homogéneos para llevar a cabo una comparación de estas en la siguiente sección.

¹ Ver: <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219265903000878?journalCode=join>

3. Comparación de tecnologías para REV.

Cada tecnología descrita en la sección anterior tiene diferentes puntos fuertes y débiles que deberán evaluarse a la luz de las necesidades del país.

En esta sección se propone hacer una evaluación de estas tecnologías a través de una matriz multi-criterio. La matriz multi-criterio provee una herramienta de comparación clara para definir la tecnología que mejor se acomode a las necesidades del país. Para esto, se llevó a cabo un ejercicio participativo del equipo consultor con el aporte del Ministerio de Transporte, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y el Departamento Nacional de Planeación, en el que se definieron los criterios y forma de evaluación y los pesos de cada uno de estos.

4. Evaluación de tecnologías para REV

El producto final de éste informe será una recomendación de la tecnología más apropiada para ejecutar proyectos de REV basándose en el resultado de la evaluación llevada a cabo en la sección 3.

Estado actual de las tecnologías para peajes electrónicos en Colombia

Colombia ha mostrado una incursión tardía en la implementación de tecnologías para peajes electrónicos en comparación a otros países tanto del mundo como la región (por ejemplo Chile empezó su implementación en 2004²). En el mundo, la tecnología de peajes electrónicos se comenzó a utilizar hace cerca de 25 años, sin embargo en el país, el primer ejemplo comercialmente operativo de éstas es el peaje de “Andes”. Este peaje, perteneciente a la concesión DEVINORTE se encuentra ubicado por la salida norte de Bogotá, utiliza la tecnología CEN-DSRC y no tiene más de 4 años de operación.

La otra gran implementación en el país de peajes electrónicos es la concesión de DEVIMED. Esta tiene implementada la tecnología ISO 18000-6C en sus cuatro peajes desde hace cerca de 3 años. Existen otros casos tanto en operación como en implementación a lo largo del país los cuales se muestran en el siguiente mapa.

² Ver siguientes subsecciones.

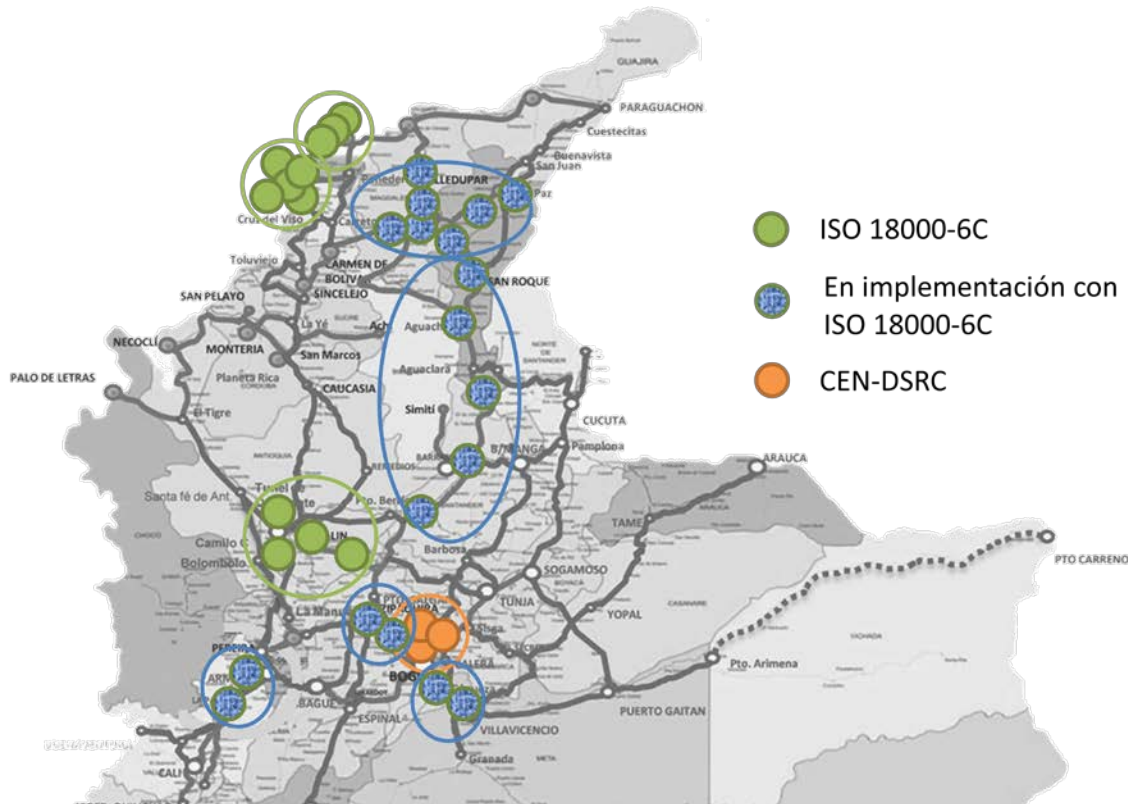


Ilustración 1: Peajes electrónicos en Colombia

Si bien Colombia muestra una clara tendencia hacia la tecnología ISO 18000-6C como lo demuestra la Ilustración 1, en donde existe una concesión con tecnología CEN DSRC y 3 concesiones implementadas y 5 en implementación con ISO 18000-6C, el hecho de que exista por lo menos una implementación diferente hace que el usuario se vea perjudicado.

Como se ha mencionado en los informes anteriores, al no haberse regulado una tecnología para peajes electrónicos, se corre el riesgo de que un usuario termine teniendo que utilizar múltiples dispositivos en su vehículo para poder utilizar los diferentes servicios.

Otros países han optado por regular o decidir a favor de una tecnología para peajes electrónicos o cargos por congestión, como es el caso de (lista no exhaustiva):

- Brasil
- Chile
- Sudáfrica
- Australia
- Inglaterra

- Suecia
- España
- Portugal
- Francia
- Estados Unidos (en proceso)

Algunos de estos casos serán tratados en la siguiente sección.

Estado de las tecnologías para peajes electrónicos en otros países

Estados Unidos

Estados Unidos lleva más de 20 años en implementaciones de peajes electrónicos en varios de sus estados. Similar al caso de Colombia, cada implementación escogió una tecnología específica, la cual no necesariamente es técnica ni comercialmente compatible con las demás. Este se ve reflejado en el mapa a continuación.



Ilustración 2: Tecnologías de peajes electrónicos en Estados Unidos³

En el año 2012, el congreso de EEUU aprobó una legislación que obliga a la interoperabilidad electrónica de todos los peajes del país antes de 2016. Esta regulación se conoce como el “Moving Ahead for Progress in the 21st century Act”, o MAP-21 Act y establece lo siguiente:

Traducción libre:

“(b) Requerimientos de interoperabilidad de peajes electrónicos. –No más de 4 años después de la promulgación de esta Acta, todas las facilidades de peajes del programa de autopistas de ayuda Federal deberán implementar tecnologías y prácticas de negocio que provean interoperabilidad de los programas de peajes electrónicos.”

Si bien no se ha definido una tecnología, se han establecido grupos de trabajo interestatales que están trabajando por definir este tema.

³ Fuente: IBTTA

América Latina

A nivel latinoamericano algunos países han emitido regulaciones a favor de alguna tecnología para temas de peajes electrónicos y/o identificación electrónica vehicular. El siguiente mapa muestra cuales países han escogida cual tecnología.



Ilustración 3: Regulación de peajes e identificación electrónica vehicular a nivel regional⁴

El caso de Chile es el más antiguo en la región (desarrollo de estándares en 2001, implementación en 2004), y aunque empezó como un tema exclusivamente de peajes urbanos, ya ha trascendido a peajes interurbanos. Aún no existe interoperabilidad comercial entre concesionarios.

Los demás casos son más recientes (~2009) y aún se encuentran en pruebas o implementación. Cabe anotar en este punto que el sistema de Brasil se encuentra basado en el estándar ISO 18000-6C, sin embargo se le hicieron modificaciones para incrementar la seguridad en el almacenamiento de la información en el dispositivo.

⁴ Fuente: Elaboración propia.

Londres (cobros por congestión)

Londres optó por un esquema de cobros por congestión que fue implementado en 2003 en el área central de la ciudad. La medida cobraba inicialmente GBP 5.00 a los vehículos que entraran a ésta. El cobro se realiza una vez por día y permite entrar y salir cuantas veces sea necesario. Los residentes del área tienen un descuento del 90%. En la actualidad, el área ha crecido y el cobro es de GBP 10.00.

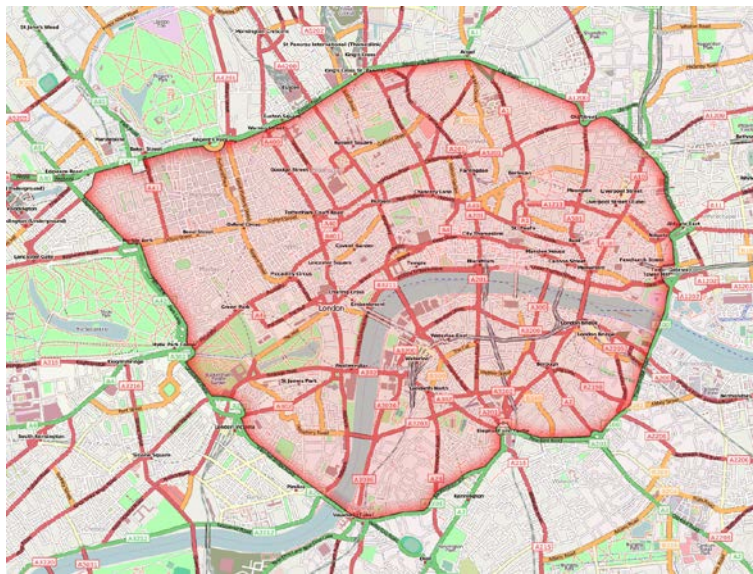


Ilustración 4: Área de cobros por congestión en Londres

Londres utiliza cámaras de reconocimiento de placas para identificar a los vehículos que entran en el área. De acuerdo a datos del estudio: “London Congestion Charging and Urban Tolling in Chile: Contrasts and Lessons on Fairness and Project Finance” de Luis Willumsen, la operación del sistema cuesta cerca del 50% de los ingresos principalmente por el uso de cámaras y la “ineficiencia” de estas, requiriendo reprocesamientos manuales. En una primera etapa la operación era ejercida por Capita, pero desde 2009 es ejercida por IBM a una fracción del costo anterior.

⁵ Fuente: Creative Commons. Distribución libre.

Descripción de tecnologías

Nota: La presente sección se encuentra basada en una actualización del informe 2 de la consultoría *“Evaluación del estado actual de la identificación vehicular en Colombia en preparación al desarrollo de la Arquitectura Nacional de Identificación Vehicular Electrónica en Colombia”* de GSD+.

ISO 18000-6C

Características Generales

El protocolo ISO 18000-6c, también conocido como EPC Clase 1 Generación 2, define la operación y funcionalidades de dispositivos de identificación funcionando entre las frecuencias de 860-960 MHz, en esquema de ITF (Interrogador/Lector Habla Primero, por sus siglas en inglés). El sistema está compuesto por lectores/interrogadores y tags/etiquetas.

Los interrogadores o lectores, envían una señal de microondas modulada en las frecuencias especificadas, con la que los tags RFID se energizan y reciben información de los lectores. A su vez, los tags modulan la señal recibida para comunicarse de vuelta con los lectores, lo que los convierte en dispositivos half-duplex.

El protocolo es totalmente abierto y permite la integración de diferentes proveedores dentro de un mismo sistema. Es posible implementar, sobre el protocolo, diferentes mecanismos de seguridad u otras aplicaciones propietarias a cada fabricante o entidad emisora. Esto sin embargo hace que la tecnología se vuelva propietaria (referirse a la siguiente subsección: Características Técnicas).



Figura 1: Tag-calcomanía RFID

Características Técnicas

A continuación se presenta una tabla descriptiva de las características técnicas de la tecnología pasiva 18000-6c.

Tabla 1: Características técnicas tecnología 18000-6c.

Memoria de usuario	512-bits
Distancia de Lectura	< 20m
Tiempo de Transacción	< 20ms
Seguridad⁶	<ul style="list-style-type: none"> - Password estático de 32 bits - Comando de "kill" o autodestrucción - CRC de 16-bits - PRNG de 16-bits - Otros implementados por el fabricante

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que los tags son dispositivos sin batería, no requieren ningún tipo de mantenimiento. Los tags soportan cerca de 100 000 ciclos de lectura/escritura.

Debido a que su fuente de alimentación es la antena, no poseen ninguna capacidad de procesamiento adicional, limitando la implementación de algoritmos de seguridad más complejos.

Generalmente los chips son implementados en forma de calcomanía que se pega al parabrisas del vehículo (ver Figura 1).

⁶ Favor referirse al Anexo 1 donde se exponen en detalle algunos protocolos de seguridad propietarios que pueden ser implementados sobre la tecnología 6c por parte del proveedor SIRIT.

Casos de Aplicación⁷

En la actualidad, este estándar ha sido escogido para los sistemas de identificación electrónica vehicular en Brasil (con algunas modificaciones), México, Perú, Tailandia y Taiwán. Adicionalmente, la tecnología es usada en peajes en países de Latinoamérica como lo son Argentina, Brasil, Colombia (Devimed, Convia), México, y en otros países del mundo como lo son Estados Unidos, Canadá, India y Turquía.

Se conoce además la aplicación de la tecnología en ambientes de peaje en MLFF como lo es el caso de la autopista E470 del estado de Denver, EEUU, donde la autoridad de tránsito escogió la tecnología 18000-6c para reemplazar su sistema anterior de tags Title21 que también funcionaba en un ambiente MLFF.

Vale la pena explicar el caso de Brasil, en el cual los laboratorios Von Braun desarrollaron una modificación al estándar ISO 18000-6C que, mediante la adición de una batería, permite manejar una seguridad más alta, como encriptación de la información con algoritmo AES-128 y autenticación mutua de tags y antenas. Si bien este desarrollo no es compatible con el estándar “puro” ISO 18000-6C, al trabajar sobre la misma frecuencia, el hardware si puede llegar a ser compatible, siempre y cuando el firmware pueda manejar los dos protocolos. Un hecho importante a aclarar, es que la modificación brasileña no está estandarizada ni es aceptada unánimemente por el comité respectivo de la ISO. Es tan sólo una de las distintas opciones de línea de desarrollo a futuro del estándar 6C y que se encuentra en discusiones en la actualidad para convertirse en un futuro cercano en el ISO 18000-63.

Es preciso mencionar en este punto que esta tecnología es dominada mayoritariamente por productores norteamericanos, mientras que el estándar CEN DSRC, como lo indica su nombre (Comité Europeo de Normalisation), es Europeo. Por esta razón, no existen muchos casos de aplicación de la tecnología 18000-6C tecnología en Europa, salvo el caso de Turquía.

Costos de inversión

Nota: Los costos de inversión que se presentan a continuación pretenden reflejar únicamente los costos asociados directamente a la tecnología. Los costos asociados a los dispositivos del back-office no se encuentran dentro del alcance de la presente sección debido a que son iguales para las tecnologías de RFID.

La página TollRoadsNews realizó una cotización de los dispositivos, que también se cita en el estudio de la Universidad Nacional, de donde se obtiene la siguiente información:

⁷ Para una lista extensiva de casos de aplicación de la tecnología por el proveedor SIRIT, referirse al anexo 2.

Tabla 2: Costos de un sistema de tecnología 18000-6c

	Precio (USD)	Unidades cotizadas
Tag	\$ 2,14	350000
Lector con antena (2 carriles)	\$ 5.060,67	37

Fuente: INFORME FINAL FASE III - CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No.1317-2009, INVIAS

Para un sistema nacional en Colombia, asumiendo un parque automotor de 6.958.726⁸ vehículos y una red primaria de 18,705 km, con lectores cada 100 km los costos de inversión se calculan en:

	18000-6c
Costo del OBU	\$ 14.914.869,39
Antenas	\$ 946.597,70
Total	\$ 15.861.467,09

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente a esto, los sistemas de radiofrecuencia deben contar con un Sistema de Detección de Violaciones o Violation Enforcement System (VES) para la detección de vehículos que no tengan tag, o cuyas lecturas se encuentren dentro del margen de error. Esto pensando en una aplicación en MLFF.

Este sistema está compuesto por cámaras y un sistema de Reconocimiento Óptica de Caracteres u Optical Character Recognition (OCR), igual al usado en ALPR. Los costos de los dispositivos, por lo tanto, se encuentran detallados en esa sección. Los costos operativos serán, sin embargo, menores a los de un sistema ALPR debido a que el nivel de procesamiento que se tiene que hacer con un VES, es menor al que se debe hacer con ALPR.

⁸ Fuente: RUNT 2011: http://www.runt.com.co/portel/libreria/php/p_estadisticas.php. Incluye todos los automotores.

Proveedores

Algunos proveedores a nivel mundial de esta tecnología son:

- TransCore de Estados Unidos
- TagMaster de Suecia
- SIRIT (ahora 3M) de Estados Unidos
- Confidex de Finlandia
- Neology de Estados Unidos.

Los peajes en Colombia que operan con esta tecnología son provistos por SIRIT e integrados por varias empresas incluyendo Flytech, Simplexity y Seguridad Móvil. No se conoce de la presencia de proveedores adicionales en el país.

CEN DSRC

Características Generales

El estándar CEN DSRC (del grupo de trabajo CEN TC-278) es un estándar que define las capas física, de comunicación y de aplicaciones para dispositivos que funcionan en las frecuencias de 5.795-5.805 GHz.

Los dispositivos a bordo (OBU por sus siglas en inglés) son semi-activos, es decir que se encuentran en modo stand-by hasta que un lector les envíe una señal de “wake-up”. Desde este punto se maneja una comunicación half-duplex entre los dos dispositivos.

Aunque siempre es el lector quién “despierta” al OBU, debido a que éste tiene batería, una vez iniciadas las comunicaciones, éste tiene capacidad de procesamiento y puede interactuar de forma activa con el lector, a diferencia del pasivo que simplemente responde a las pregunta del interrogador.

El protocolo también es abierto e incluye definiciones de la capa de aplicaciones para aplicaciones de peajes, lo que permite, al igual que el 18000-6c, la interoperabilidad de diferentes proveedores en un mismo sistema.



Figura 2: Dispositivo a Bordo CEN DSRC con sujetador

Características Técnicas

A continuación se presenta una tabla descriptiva de las características técnicas de la tecnología

semi-activa CEN DSRC.

Memoria de usuario	> 1Kbyte
Distancia de Lectura	< 30m
Tiempo de Transacción	< 25ms
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Autenticación mutua - Encriptación de datos y comunicaciones - Otros propietarios implementados por el fabricante (menos limitado por el tamaño de memoria)

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que son dispositivos alimentados por una batería interna, ésta puede ser reemplazada por lo menos una vez durante la vida útil del dispositivo (aunque debido al alto costo de cambio, a veces los proveedores deciden reemplazar el dispositivo entero). Generalmente son alimentados por baterías de 3 a 5 VDC y éstas tienen una duración en promedio de 7 años, asumiendo 2000 transacciones por año. 2000 transacciones por año implicarían alrededor de 5 transacciones por día. El dispositivo tiene una vida útil de alrededor de 15 años.

Por otro lado, físicamente los OBU's se componen de 2 partes: (1) la parte electrónica y (2) un sujetador que se pega mediante una calcomanía al parabrisas (ver Figura 3Figura 2).

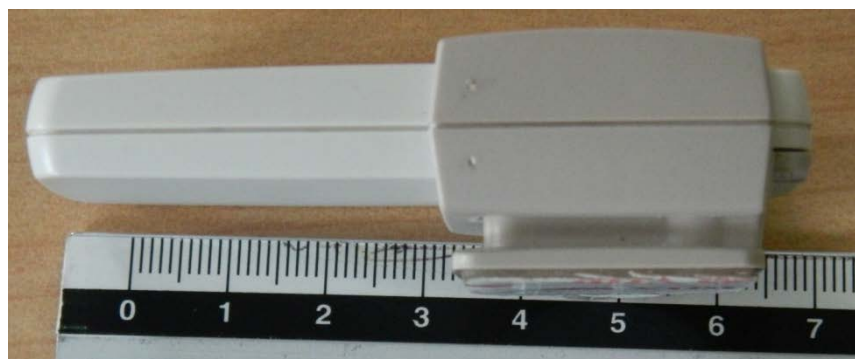


Figura 3: Grosor de un OBU con el sujetador

Casos de Aplicación⁹

Actualmente, la tecnología CEN-DSRC es la preferida en Europa, al tratarse de un estándar Europeo. Turquía es el único país de Europa que ha adoptado para sus peajes el estándar 18000-6c.

Para peajes, este sistema es usado actualmente también en Argentina, Colombia (Devinorte), Chile, China, Australia, Sudáfrica y Costa Rica entre otros.

Costos de inversión

Nota: Los costos de inversión que se presentan a continuación pretenden reflejar únicamente los costos asociados directamente a la tecnología. Los costos asociados a los dispositivos del back-office no se encuentran dentro del alcance de la presente sección.

A través de conversaciones con proveedores se obtuvo un costo promedio de cada OBU y de las antenas.

Tabla 3: Costos de un sistema de tecnología CEN-DSRC

	Precio
Tag	EUR 14 – \$ 17
Lector con antena (2 carriles)	USD 6200

Fuente: Información obtenida de proveedores.

Para un sistema nacional en Colombia, asumiendo un parque automotor de 6.958.726 vehículos y una red primaria de 18,705 km, con lectores cada 100 km, y utilizando el precio más bajo por OBU, se obtiene lo siguiente:

	CEN DSRC
Costo del OBU	USD 136.645.996
Antenas	USD 1.159.710
Total	\$ 137.805.706

Fuente: Elaboración propia.

⁹ Para una lista extensiva de casos de aplicación de la tecnología por el proveedor Kapsch, referirse al anexo 3

Al igual que para la tecnología 6c, se debe agregar los costos del sistema VES que se encuentran detallados en la siguiente sección.

Proveedores

Los proveedores más reconocidos del mercado son:

- Q-Free de Noruega
- Kapsch de Austria
- Telvent de España
- Thales de Francia
- Sagem de Francia

En Colombia, la implementación del peaje de Devinorte es provista por Kapsch e integrada por Indra. No se conocen integradores o proveedores adicionales con presencia en el país.

Costos operativos para tecnologías de radiofrecuencia.

Nota: Se asume un modelo operativo tipo MLFF. En el caso que se deseen hacer peajes electrónicos con barreras, no será necesario incluir el VES, ya que si un vehículo no tiene un dispositivo a bordo, la barrera simplemente no se levantaría.

Asumiendo una confiabilidad del 99.9%¹⁰ para el sistema 18000-6c, y asumiendo un sistema de VES con una confiabilidad del 90%¹¹, la probabilidad combinada de estos dos implicaría que deberá hacerse un procesamiento manual de algún porcentaje de las lecturas que no alcancen a ser detectadas por el sistema de radiofrecuencia.

A continuación se presentan los cálculos de los costos operativos para el procesamiento manual de imágenes.

Asumiendo:

- 0.01% de imágenes a procesar (probabilidad de fallo de la tecnología de RadioFrecuencia multiplicada por la probabilidad de fallo con la tecnología VES)
- Cada dispositivo a bordo es leído en promedio 2 veces por día (un paso de ida y otro de vuelta por un punto de lectura)
- Una velocidad de procesamiento de 2 imágenes por minuto por cada operario
- Salario mínimo (\$535.600) con un factor prestacional del 52% sobre el salario completo + \$63.600 de subsidio de transporte.
- Turnos de 4 horas diarias por operario (de acuerdo a datos obtenidos del sistema de procesamiento de imágenes de la autopista E470 de Denver, los turnos de medio día son más eficaces debido a que la fatiga de un trabajo repetitivo como éste, causa rendimientos menores en turnos completos)

Se obtiene que:

- Número de imágenes diarias a procesar

¹⁰ Por favor referirse al Anexo 4 – Reporte de Pruebas de la “State Road and Tollway Authority” de Georgia, EEUU.

¹¹ La confiabilidad de los sistemas VES depende de las placas de cada país en específico. Se recomienda llevar a cabo pruebas de confiabilidad de la tecnología en el caso Colombiano para tener resultados más acertados. El dato obtenido de 90% proviene del sistema de TfL con su sistema de Cargos por Congestión de Londres - <http://www.roadtraffic-technology.com/projects/congestion/>. Consultado el 15-12-2011.

$$= 13.917.452 \times 0.01\%$$

= 1392 imágenes diarias

- Número de minutos diarios a procesar dado el número de imágenes
 $= 6960 / 2$

= 696 minutos

- Número de turnos diarios para completar el procesamiento
 $= 3480 / (60 \times 4)$

= 3 turnos

- Costos operativos mensuales
 $= 15 \times (536.500/2 + 536.500 \times 52\% + 63.600)$

= \$ 1.832.490 / mes

ALPR

Características Generales

Los sistemas de ALPR o Reconocimiento Automático de Placas (por sus siglas en inglés) utilizan una combinación de tecnologías para llevar a cabo la identificación de los vehículos a través de sus placas metálicas reflectivas.

El proceso consiste en tomar una foto de la placa de un vehículo y usar técnicas de procesamiento de esta imagen para mejorarla de tal forma que el software de OCR pueda detectar los caracteres individuales.

El proceso puede darse tanto in-situ como en el back-office (o en ambas). En el primer caso, la información procesada (caracteres ASCII junto con demás información requerida (hora, ubicación, etc.)) es enviada al back-office para hacerle validación y las imágenes pueden ser descartadas. En el segundo caso, por el contrario, lo que se envía es la imagen capturada y el procesamiento de ésta se hace en el back-office y allí se guarda o descarta la foto.



Figura 4: Ejemplo de captura y procesamiento de placas.

El sistema puede también usarse en conjunto con los sistemas de identificación por radiofrecuencia para:

1. Aumentar la confiabilidad total.
2. Controlar los vehículos que no portan el dispositivo a bordo.

En el primer caso, el sistema entero, será una combinación de los dos subsistemas, lo que incrementa la confiabilidad total.

- Para el caso 18000-6c, asumiendo una confiabilidad del subsistema de radiofrecuencia cerca del 99.9% y asumiendo una confiabilidad del subsistema de ANPR del 90%, el sistema total tendría una confiabilidad combinada del 99.99%.
- Para el caso de CEN DSRC, asumiendo una confiabilidad del subsistema de radiofrecuencia cerca del 99.9% y una confiabilidad del sistema ANPR del 90%, el sistema total tendría una confiabilidad combinada del 99.99%.

Es importante, sin embargo resaltar, que la confiabilidad real no podrá conocerse a menos que se lleven a cabo pruebas de cada una de las tecnologías teniendo en cuenta las especificidades del caso Colombiano.

Características Técnicas

Un sistema de ALPR se compone de:

1. Cámara (puede ser dual: color/infrarroja) con sistema de ubicación de placa
2. Flash
3. Software de OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres, por sus siglas en inglés)
4. Centro de procesamiento manual
5. Placas en los vehículos.

La literatura ubica los sistemas de ALPR con una confiabilidad de lectura de entre 90-95%. Esto depende, sin embargo de las características de tanto los equipos, como las placas. En un sistema de placas como el colombiano donde no existe mucha diversidad, es posible que este sistema alcance confiabilidades de lectura mayores.

Existen, sin embargo, otros factores que afectan la confiabilidad en la lectura, como lo pueden ser la duplicación fraudulenta de placas, los bajos niveles de calidad de los materiales, el medio ambiente (ej. barro) y las similitudes en los caracteres (ej. la 'D' y la 'O' en las placas colombianas). Todos estos disminuirán la confiabilidad de un sistema ALPR.

Si se utiliza únicamente un sistema de ALPR (sin usar sistemas RFID), los costos del centro de procesamiento manual se incrementarán. Esto debido a que en los sistemas de RFID, ésta será la forma principal de identificación y el sistema ALPR se usará tan sólo como respaldo para control de vehículos que no tienen el dispositivo a bordo e incrementar la confiabilidad del

sistema total ya que los dispositivos que no se lean por medio de RFID, podrán ser capturados por la cámara. Como se explicó en una sección anterior de este documento, estos sistemas son válidos y son ampliamente utilizados en esquemas de cargos por congestión en ciudades a nivel mundial.

Casos de Aplicación

El caso más conocido de aplicación de este sistema es el de Londres con su esquema de cargo por congestión. Los vehículos que entran a un cordón de la ciudad son identificados mediante un sistema ALPR y se genera una factura de GBP 10 que puede ser pagada anticipadamente o a posteriori.

Otros países, como Estados Unidos, Alemania, Ucrania y Hungría usan sistemas de ALPR para identificación de vehículos robados y asegurar el cumplimiento de normas de tránsito.

En Colombia, Medellín utiliza cámaras de OCR para alimentar su sistema de fotocomparendos. Adicionalmente, los concesionarios de peajes utilizan cámaras (sin OCR) para llevar a cabo control de sus casetas de peaje y vías.

Costos de inversión

De acuerdo a la Oficina de Servicios Generales del Estado de Nueva York (OGS), los costos de los elementos requeridos para la tecnología ALPR son los siguientes:

	Precio (USD)
Cámara sencilla	\$ 12,250
Software in situ (1 puesto)	\$ 6,500
Software de back office (1 licencia)	\$ 995

Para un sistema nacional en Colombia, asumiendo una red primaria de 18,705 km, con lectores cada 100 km, los costos de inversión se estiman en:

	ALPR
Cámara	\$ 2,291,362.50
Software	\$ 1,215,825.00
Total	\$ 3,507,187.50

Costos operativos

Debido a su menor confiabilidad (cercana al 90%), los sistemas de ALPR deberán contar con sistemas de backoffice que alberguen a los operadores manuales que procesarán el 10% de las imágenes capturadas y que no pudieron ser leídas correctamente.

Asumiendo:

- 10% de imágenes a procesar
- Dos lecturas diarias por vehículo
- Una velocidad de procesamiento de 2 imágenes por minuto
- Salario mínimo (\$535.600) con un factor prestacional del 52% sobre el salario completo + \$63.600 de subsidio de transporte.
- Turnos de 4 horas diarias por operario (de acuerdo a datos obtenidos del sistema de procesamiento de imágenes de la autopista E470 de Denver, los turnos de medio día son más eficaces debido a que la fatiga de un trabajo repetitivo como éste, causa rendimientos menores en turnos completos)

$$= 13.917.452 \times 0.01\%$$

= 1392 imágenes diarias

- Número de minutos diarios a procesar dado el número de imágenes
 $= 6960 / 2$

= 696 minutos

- Número de turnos diarios para completar el procesamiento
 $= 3480 / (60 \times 4)$

= 3 turnos

- Costos operativos mensuales
 $= 15 \times (536.500/2 + 536.500 \times 52\% + 63.600)$

= \$ 1.832.490 / mes

Se obtiene que:

- Número de imágenes a procesar diarias
 $= 13.917.452 \times 10\%$

= 1.391.745 imágenes diarias

- Número de minutos diarios a procesar dado el número de imágenes
= $6.958.730 / 2$

= 695.873 minutos

- Número de turnos diarios para completar el procesamiento
= $3.479.370 / (60 \times 4)$

= 2899 turnos

- Costos operativos mensuales
= $2899 \times (536.500/2 + 536.500 \times 52\% + 63.600)$

= \$ 1.770.796.170 / mes

Proveedores

Entre las empresas proveedoras de sistemas ALPR encontramos a:

- 3M a través de su subsidiaria PIPS.
- Belsys
- CitySync

En Colombia existen diversos casos de esquemas de detección de infracciones por cámaras. No todos utilizan ALPR, algunos se manejan de forma manual. El esquema de fotomultas de Medellín utiliza equipos provistos por la brasilera Belsys e integrados por Quipux.

Resumen

A continuación se presenta una tabla de resumen de cada uno de los criterios previamente identificados para cada tecnología.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC	Cámaras ALPR
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 860-960 MHz - Comunicación: Half duplex 	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 5.795-5.805 GHz - Comunicación: Half duplex 	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: Espectro visible / Infrarrojo - Comunicación: N/A
Características técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - Memoria: 512 bits - Distancia de lectura: <20m - Seguridad: <ul style="list-style-type: none"> • Password estático de 32 bits • Comando de "kill" o autodestrucción • CRC de 16-bits • PRNG de 16-bits • Otros implementados por el fabricante - Vida útil: 100.000 ciclos de R/W - Aplicación: Calcomanía 	<ul style="list-style-type: none"> - Memoria: > 1 Kbyte - Distancia de lectura: <30m - Seguridad: <ul style="list-style-type: none"> • Autenticación mutua • Encriptación de datos y comunicaciones • Otros propietarios implementados por el fabricante (menos limitado por el tamaño de memoria) - Vida útil: Duración promedio de batería = 7 años con 2000 lecturas por año. - Aplicación: OBU (caja plástica con sujetador) 	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes: <ol style="list-style-type: none"> 1. Cámara (puede ser dual: color/infrarroja) con sistema de ubicación de placa 2. Flash 3. Software de OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres, por sus siglas en inglés) 4. Centro de procesamiento manual - Confiabilidad: 90-95%
Casos de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Peajes: Argentina, Brasil, Colombia (Devimed, Convial), México, Estados Unidos, Canadá, India y Turquía - Identificación vehicular: Brasil (mod), México, Perú, Tailandia y Taiwán. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peajes: Europa, con diferentes variaciones del estándar, Argentina, Colombia (Devinorte), Chile, China, Australia, Sudáfrica y Costa Rica - Identificación vehicular: No utilizado en esquemas nacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peajes (cobros por congestión): Londres, Estocolmo, Milán - Identificación vehicular (locales): Estados Unidos, Alemania, Ucrania y Hungría
Costos de inversión	<ul style="list-style-type: none"> - Tag: USD 3-6 - Antena: ~USD 5.000 	<ul style="list-style-type: none"> - OBU: EUR 14-17 - Antena: ~USD 6.000 	<ul style="list-style-type: none"> - Cámaras con OCR: ~ USD 18.000
Costos operativos	<p>Mínimos debido a la alta confiabilidad.</p> <p>En un esquema MLFF debe tenerse en cuenta los costos operativos de un sistema VES</p>	<p>Mínimos debido a la alta confiabilidad.</p> <p>En un esquema MLFF debe tenerse en cuenta los costos operativos de un sistema VES</p>	<p>Personal para reprocesamiento debido a la baja confiabilidad en la lectura de las placas.</p>
Proveedores	<ul style="list-style-type: none"> - Proveedores: <ul style="list-style-type: none"> • TransCore de Estados Unidos • SIRIT (ahora 3M) de Estados Unidos • Neology de Estados Unidos 	<ul style="list-style-type: none"> - Proveedores: <ul style="list-style-type: none"> • Q-Free de Noruega • Kapsch de Austria • Telvent de España • Thales de Francia • Sagem de Francia 	<ul style="list-style-type: none"> - Proveedores: <ul style="list-style-type: none"> • 3M a través de su subsidiaria PIPS. • Belsys • CitySync

Evaluación de tecnologías

El Ministerio de Transporte en conjunto con el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y el Departamento Nacional de Planeación definieron los criterios contra los cuales se evaluarán cada una de las tecnologías, al igual que los pesos y formas de medición.

A continuación se presenta la tabla resultado del este análisis.

Tabla 4: Matriz multi-criterio para la evaluación de tecnologías¹²

	Criterio	Explicación	Cómo se mide	Puntaje
1	Estándar abierto	Estándar reconocido y existente avalado por un organismo independiente y con mecanismos de certificación	Puntaje máximo a las tecnologías que se basan en estándares abiertos.	7.5%
2	Seguridad	Seguridad en lectura de información, emulación/clonación, posibilidad de adicionar mecanismos adicionales,	Seguridad en lectura (5%), Emulación/clonación (5%), Remoción del vehículo (5%)	15.0%
3	Confiabilidad de lectura	Confiabilidad de lectura a altas velocidades (>100KM/h) lo que demuestra capacidad de operar en un ambiente MLFF	Avalado mediante pruebas por organismos certificadores independientes y reconocidos	7.5%
4	Casos de implementación a nivel mundial	Casos asimilables a nivel mundial	Máximo puntaje a más de 50 implementaciones de peajes electrónicos con la tecnología a nivel mundial	7.5%
5	Casos de implementación en Colombia	Peajes electrónicos ya implementados en Colombia con la tecnología	Máximo puntaje a la tecnología con mayor cantidad de peajes implementados en Colombia	10.0%
6	Existencia de múltiples proveedores en Colombia	Posibilidad de adquirir los dispositivos (a bordo y la infraestructura) a varios proveedores	Numero de proveedores de cada tecnología disponibles en el país actualmente	7.5%
7	Costo de la Unidad A Bordo	Costo de CAPEX del dispositivo a bordo	Máximo puntaje al costo menor.	10.0%
8	Costo de la Infraestructura	Costos de CAPEX de implementar la infraestructura requerida para soportar la tecnología		10.0%
9	Costos operativos	Costos de operación relacionados (1) a la infraestructura tecnológica y (2) a la unidad a bordo		7.5%
10	Costos operativos relacionados al procesamiento en el backoffice.	Costos operativos relacionados al procesamiento adicional que se requiera hacer		7.5%
11	Tiempos de desarrollo adicionales	Tiempos debidos al desarrollo de especificaciones adicionales encima del estándar	Se mide en numero de meses y a mas meses menos atractivo	10.0%
				100.0%

Nota: La tecnología mejor calificada recibe el puntaje máximo, y la segunda recibe la mitad de los puntos.

¹² Elaboración del Ministerio de Transporte con el apoyo de Departamento Nacional de Planeación y Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Criterio 1: Estándar abierto.

ISO 18000-6C		CEN-DSRC
Explicación	El estándar ISO 18000-6c define las capas 1 y 2 del modelo OSI, con lo cual cualquier empresa puede entrar al mercado en condición de proveedor.	El estándar CEN TC-278 define las capas 1, 2 y 7 del modelo OSI, con lo cual cualquier empresa puede entrar al mercado en condición de proveedor, ofreciendo los mismos niveles de seguridad estandarizados.
	Cada proveedor implementa diferentes niveles de seguridad en cuanto a aplicaciones (capa 7 del modelo OSI) las cuales pueden ser propietarias.	Cada proveedor puede implementar sus propias llaves de seguridad y modificaciones al estándar, las cuales vuelven al sistema propietario.
	Existe un estándar reconocido por un organismo internacional; la International Standards Organisation.	Existe un estándar reconocido por un organismo internacional; el Comité Européen de Normalisation.
Puntaje		7.5%

Criterio 2: Seguridad.

ISO 18000-6C		CEN-DSRC
Explicación	Este sistema de radiofrecuencia está diseñado específicamente para que el identificador del tag (TID) sea de libre lectura para cualquier actor (análogo a una placa). El estándar define que este código único de 64bits se encuentra inscrito de fábrica en espacios de memoria definidos los cuales son inmodificables.	Este sistema, al contener una batería, tiene alguna capacidad de procesamiento y también memoria suficiente para implementar protocolos criptográficos complejos, con el fin de garantizar la autenticidad de los dispositivos y la privacidad e integridad de los datos almacenados en ellos.
	El sistema fue diseñado como uno de reconocimiento (al igual que una placa) y sus mecanismos de seguridad están enfocados en asegurar una correcta lectura del TID y no a proteger información sensible dentro del dispositivo.	Al igual que el estándar 6c, un dispositivo puede guardar un identificador único que podrá ser accedido por un lector para la identificación de un vehículo.
	Aunque la tecnología soporta tanto la lectura como la escritura en los dispositivos a bordo, debido a que éstos no poseen ninguna capacidad de	La tecnología cuenta con mecanismos para detectar si la parte electrónica de un dispositivo ha sido removida del sujetador. Sin embargo, no es posible detectar si el dispositivo completo ha sido

procesamiento, son poco capaces de implementar algoritmos complejos de seguridad y encriptación para limitar el acceso no deseado a la información guardada y que podría ser sensible, o para limitar la grabación de información errónea o malintencionada.

La tecnología no ofrece ningún mecanismo válido que permita proteger contra ataques de emulación o clonación de dispositivos. La clonación resulta impráctica comercialmente, pero se podría dar el caso de una emulación. Vale la pena resaltar que hasta la fecha no se conocen casos reales de emulación en el mundo.

Los diferentes fabricantes ofrecen mecanismos propietarios de seguridad que mejoran el acceso de lectura y escritura para proteger contra accesos no deseados y de autenticación mutua de los dispositivos y antenas, sin embargo estos mecanismos pueden ser fácilmente vulnerados.

La arquitectura pensada para REV, y la actualmente utilizada en los peajes en Colombia, pretende acceder únicamente al TID del dispositivo. Por lo tanto, no es necesario implementar mecanismos de seguridad para proteger la confidencialidad de datos adicionales en el tag relacionados con el vehículo o su propietario.

La seguridad de los tags se basa también en mecanismos visuales de seguridad y en la seguridad física de la

transferido de un vehículo a otro. Por lo tanto, los dispositivos no son intranferibles.

El mecanismo de detección de remoción es mecánico (sensor de presión) que puede ser vulnerable a manipulaciones físicas. Esto implica que no se puede asegurar con total certeza que el dispositivo es único e intranferible entre vehículos.

calcomanía en la que usualmente se fabrican los chips. Al despegarse una calcomanía, se destruye el mecanismo interno haciéndolo inservible y dejando una clara muestra de que el dispositivo fue removido. Esto hace que estos dispositivos sean intransferibles de vehículo a vehículo.		
Puntaje	10%	12.5%

Criterio 3: Confiabilidad de lectura.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Tecnología probada en ambientes MLFF, con una tasa de aciertos de lectura del 99.9%. Pruebas avaladas por la "State Road and Tollway Authority" de Georgia.	Tecnología probada en ambientes MLFF, con una tasa de aciertos de lectura del 99.9%. Pruebas avaladas por la 'Rechnungshof' – Oficina Austriaca de Auditoría ASFINAG.
Puntaje	7.5%	7.5%

Criterio 4: Casos de implementación a nivel mundial.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Existen numerosos casos de aplicación en peajes a nivel mundial (>50), incluyendo Colombia.	Existen numerosos casos de aplicación en peajes a nivel mundial (>50), incluyendo Colombia.
Puntaje	7.5%	7.5%

Criterio 5: Casos de implementación en Colombia.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Existen 3 peajes implementados en Colombia con la tecnología además de varios en implementación.	Existe 1 caso de aplicación de la tecnología en peajes en Colombia.

Puntaje	10%	5%
----------------	-----	----

Criterio 6: Existencia de múltiples proveedores en Colombia.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Se conoce 1 proveedor con presencia establecida en Colombia: 3M.	Se conoce 1 proveedor con presencia establecida en Colombia: Kapsch.
Puntaje	0%	0%

Criterio 7: Costos de la unidad a bordo.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Los tags en forma de sticker pueden llegar a costar entre USD 3.00 y 6.00.	Los OBU's pueden llegar a costar entre EUR 16.00 y 18.00, es decir entre USD 21.00 y 24.00.
Puntaje	10%	5%

Criterio 8: Costos de la infraestructura.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Se necesitan antenas y cámaras, y sus periféricos asociados, además de un centro de control. Requiere un sistema de VES adicional, si se trata de esquemas MLFF. Las antenas pueden llegar a costar cerca de USD 1000 menos que las antenas de la tecnología CEN-DSRC.	Se necesitan antenas y cámaras, y sus periféricos asociados, además de un centro de control. Requiere un sistema de VES adicional, si se trata de esquemas MLFF.
Puntaje	10%	5%

Criterio 9: Costos operativos.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
--	--------------	----------

Explicación	Los dispositivos en carretera están diseñados para condiciones ambientales normales y requieren mínimo mantenimiento.	Los dispositivos en carretera están diseñados para condiciones ambientales normales y requieren mínimo mantenimiento. Se requiere una logística para el cambio de batería de los dispositivos a bordo lo cual conlleva costos considerables.
Puntaje	7.5%	3.75%

Criterio 10: Costos operativos relacionados al procesamiento en backoffice.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Procesamiento mínimo debido a la alta confiabilidad.	Procesamiento mínimo debido a la alta confiabilidad.
Puntaje	7.5%	7.5%

Criterio 11: Tiempos de desarrollo adicionales.

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Explicación	Se podría adoptar un estándar ya existente en otro país (por ejemplo Brasil), pero existen casos limitados. Tiempo aproximado: 9 meses.	Se podría adoptar un estándar ya existente en otro país (por ejemplo España), y existen múltiples casos similares. Tiempo aproximado: 6 meses.
Puntaje	5%	10%

Resumen de la evaluación:

	ISO 18000-6C	CEN-DSRC
Criterio 1: Estándar abierto	7.5%	7.5%
Criterio 2: Seguridad	10.0%	12.5%
Criterio 3: Confiabilidad de lectura	7.5%	7.5%
Criterio 4: Casos a nivel mundial	7.5%	7.5%
Criterio 5: Casos de implementación en Colombia	10.0%	5.0%
Criterio 6: Múltiples proveedores en Colombia	0.0%	0.0%
Criterio 7: Costos de la unidad a bordo	10.0%	5.0%
Criterio 8: Costos de la infraestructura	10.0%	5.0%
Criterio 9: Costos operativos	7.5%	3.8%
Criterio 10: Costos operativos en backoffice	7.5%	7.5%
Criterio 11: Tiempos de desarrollo adicionales	5.0%	10.0%
Total	82.5 %	71.25%

Conclusiones:

Del presente informe se puede concluir que:

1. Los casos internacionales demuestran que las tres tecnologías pueden ser aplicadas en implementaciones tipo REV.
2. Los resultados demuestran que la tecnología ISO 18000-6C tiene puntajes inferiores en los criterios de seguridad y tiempos de desarrollo adicionales frente a la CEN DSRC.
3. También muestran que tiene puntajes superiores en los casos de implementación en el país, costos de la unidad a bordo, costos de infraestructura, y costos de mantenimiento.
4. Por el lado de la seguridad, esta se debe como un todo, y no como la seguridad de alguno de sus componentes. Existen formas en el back-office que permitan asegurar el sistema total. Estos sistemas van a ser necesarios independientemente de la tecnología escogida. Se debe también tener en cuenta que el comité ISO encargado del 18000-6 se encuentra trabajando en actualizaciones que permitirán implementar mecanismos de seguridad dentro de estos dispositivos, tales como autenticación mutua y encriptación de datos y comunicaciones.
5. La tecnología de ALPR no se evalúa debido a que el modelo tecnológico y operativo que se decidió es el de peajes con barrera/talanquera. Este modelo requiere decisiones confiables en tiempo real, y debido a su baja confiabilidad, se puede dar un alto porcentaje de casos en los que no se abra la barrera, lo cual resulta inaceptable operativamente. Esta tecnología, sin embargo, puede resultar conveniente en esquemas de libre flujo (MLFF) como lo son cargos por congestión, debido a que el procesamiento de la información puede llevarse a cabo en el back-office y no en tiempo real.
6. Por el otro lado, su bajo nivel de confiabilidad en la lectura generaría costos operativos muy elevados que no permitirían tener un beneficio neto positivo para la sociedad.
7. Esta evaluación muestra que la tecnología ISO 18000-6C, a pesar de no tener los mejores mecanismos de seguridad entre las tecnologías evaluadas, resulta ser la más adecuada para las necesidades del país.