

3.- Modelado y pruebas.

3.1 Memoria en los Tags RFID.

WORM son las siglas, en inglés correspondiente a Write Once Read Many, o sea, escribe una vez y lee muchas veces. Esta denominación se concede a medios de almacenamiento que tienen esta propiedad: los datos escritos ya no pueden ser borrados o sobre-escritos, posteriormente.

La importancia de los dispositivos con este tipo de memoria es que garantizan la integridad y conservación de la información ahí guardada. Se utiliza en infraestructuras de gestión documental por medios electrónicos.

Existen dos tipos de medios de almacenamiento tipo WORM: Aquellos que físicamente pueden ser escritos solamente una vez (por ejemplo: los discos compactos del tipo CD-R, DVD-R o algunos circuitos electrónicos, tales como las memorias PROM) y los dispositivos de almacenamiento que habilitan la capacidad de ser tipo WORM, gracias al uso de llaves electrónicas u otras medidas que previenen la reescritura de datos en la memoria, ver figura 3.1.

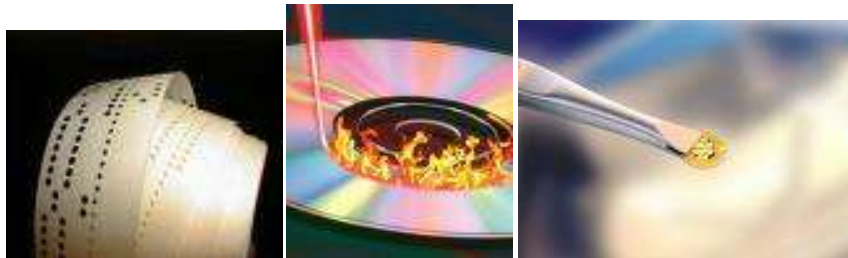


Figura 3.1.- Tipo de medios que operan como WORM.

Enfocado a la memoria que manejan los Tags de tecnología RFID, estos pueden contener memorias tipo WORM en la que se almacenan los datos una sola vez desde que son fabricados y la información que contiene no se puede modificar posteriormente.

Para lograr esto, el tipo de memoria que se emplea es la PROM que es el acrónimo de Programmable Read-Only Memory (ROM programable). Es una memoria digital donde el valor de cada bit depende del estado de un fusible (o antifusible), que puede ser quemado una sola vez. Por esto, la memoria puede ser programada (pueden ser escritos los datos) por única ocasión, a través de un dispositivo especial, un programador PROM.

La mayoría de los tags que se manejan en el mercado, tienen una memoria del tipo EEPROM, la cual mediante llaves de software pueden habilitarse como memorias de tipo WORM.

En cuanto a las memorias EEPROM (figura 3.2), son las siglas de Electrically-erasable programmable read-only memory (ROM programable y borrarse eléctricamente), es un tipo de memoria ROM que puede ser

programada, borrada y reprogramada eléctricamente, a diferencia de la EPROM que ha de borrarse mediante rayos ultravioletas. Tiene la ventaja de que puede ser leída un número ilimitado de veces, pero con el problema de que únicamente puede ser borrada y reprogramada entre 100,000 y 1,000,000 de veces. En otras ocasiones, se integra dentro de chips como microcontroladores y DSPs para obtener una mayor rapidez.

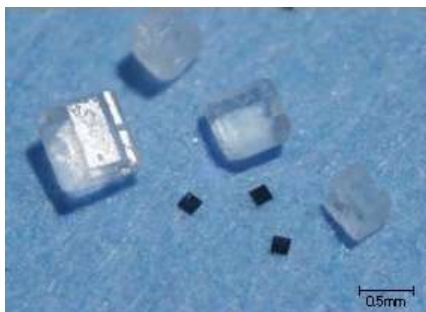


Figura 3.2.- Tags con memorias EEPROM habilitados como WORM.

En el caso de este proyecto, se puede implementar una memoria del tipo EEPROM, en donde una parte de la memoria del chip debe ser de tipo WORM ya que debe haber datos en el tag que no cambian, por ejemplo: el id del tag, el número de REPUVE y el VIN del automóvil. Otra parte de la memoria puede ser de tipo EEPROM y usarse para aplicaciones de algún estado o de la iniciativa privada que requieran guardar información en el tag.

3.2 Relación entre interoperabilidad y seguridad.

Para mantener una “Interoperabilidad” del Sistema, es necesario, la determinación de un estándar para el protocolo de comunicaciones en el aire y con las aplicaciones, es decir, contar con un Sistema “normalizado”. Para mantener una “Seguridad” del Sistema se requiere la creación de un mecanismo de validación electrónica del Transponder y de la información contenida en el mismo, esto es, la elaboración de un algoritmo de cifrado interno que sea registrado en la base de datos, que permita validar la autenticidad del transponder y por lo tanto, integrar una dualidad entre el identificador del mismo (ID Tag), el número del REPUVE (VIN) y algún registro de control en la base de datos (p.e. ID Field, counter, etc.) del que resulte un producto único, que sólo sea posible identificar y/o validar por este algoritmo de cifrado inscrito en el Sistema.

Bajo este mismo tenor, existen otros mecanismos de seguridad que deben de considerarse para el Transponder, los cuales son del tipo visual y de los materiales utilizados para su elaboración. Por ejemplo: debe de evaluarse el uso de hologramas, grabados con tintas de seguridad, marcas de agua, etc., para su diseño exterior, así como contar con claves de identificación visual cuando se requiera su validación sin el uso de lectoras portátiles,

esto es, estar relacionado el Transponder con los demás documentos del vehículo (Tarjeta de Circulación, Certificado documental del REPUVE, etc.). Ver figura 3.3.



Figura 3.3.- Interoperabilidad y seguridad del sistema.

La relación de los componentes de interoperabilidad y seguridad expresados anteriormente darán la fórmula adecuada para asegurar la adquisición del Sistema de Identificación y Control Vehicular con Tecnología RFID, por cada uno de los Estados de la República, promoviendo la participación libre y abierta, en igualdad de condiciones, para las diferentes empresas nacionales e internacionales interesadas en concursar y por otra parte, la seguridad de contar con un mecanismo de certificación y validación electrónico que permita legitimar físicamente al Transponder y la veracidad de la información contenida en el mismo.

3.3 Durabilidad de los componentes del sistema.

3.3.1 Transponder

Para los tags activos como el que se muestra en la figura 3.4, según información de proveedores de tecnología RFID activa en nuestro país, se estima un tiempo de entre 4 y 5 años transmitiendo a intervalos de 1.5 segundos, con mensajes clase 1-9 y 5 años a intervalos de 0.8 segundos, con clase 10.



Figura 3.4.- Transponder RFID con Tecnología Activa.

Para los tags pasivos, como se muestra en la figura 3.5, varía por fabricante, pero se estima según información de los proveedores de tecnología RFID en México, un tiempo de vida útil que va de 5 a 10 años, con un estimado de 100,000 ciclos de lectura y retención de datos superior a 10 años.

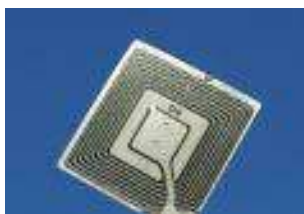


Figura 3.5.- Transponder RFID con Tecnología Pasiva.

3.3.2 Lector

El tiempo de vida en operación, depende de las características ambientales en que se encuentre expuesto, como la temperatura y la humedad relativa del lugar geográfico en que se decidió colocar, además de las políticas de mantenimiento que se le proporcione, como el período de supervisión, reemplazo de piezas y de la calidad de los servicios con que se cuente, así como una alimentación correctamente regulada.

La degradación de los componentes que lo integran, varía con la infinidad de modelos que existen actualmente en el mercado, ya que se puede tener el mismo sistema (operativamente hablando) con sus componentes (antena, lector cableado, etc.) conectados individualmente o un solo sistema que contiene todas las partes en un único bloque.

En la figura 3.6 se puede observar un conjunto de lectores para tecnología RFID.



Figura 3.6.- Ejemplo de lectores para RFID.

3.3.3 Back end (Base de datos)

El tiempo de vida de una base de datos, depende de la frecuencia con la que se estén haciendo operaciones de lectura y escritura en el sistema y de la cantidad de datos que estén almacenados en la base, ya que esto trae consigo un deterioro en la ocupación y en la fragmentación de todos los bloques que la componen; trayendo como consecuencia que el sistema sea más lento al realizar una consulta e incrementa el tiempo de respuesta en las transacciones realizadas.

En la figura 3.7, se puede ver los componentes de un Sistema RFID para control Vehicular y las interacciones con diversos dispositivos en donde las bases de datos de este sistema deben estar recibiendo mantenimiento.



Figura 3.7.- Componentes de un Sistema RFID para control vehicular.

Por todo lo mencionado anteriormente, es necesario dar mantenimiento constante a la base de datos para asegurar la integridad de la información contenida en ella, al mismo tiempo para garantizar un óptimo lapso de respuesta del sistema, al realizar consultas y grabado de información en la base; procurando respaldar la información de forma periódica para asegurar que no se tenga pérdida de la misma.

3.3.4 Front end (Aplicativo del sistema)

Los factores por los que podría variar la durabilidad de un sistema en marcha, serían el mantenimiento que se le preste a este, proceso mediante el cual le permite mejorar el Aplicativo (si así lo consiente), como la solución de los posibles problemas o defectos que se pudiese presentar durante su operación. En la figura 3.8 se muestra la pantalla de unos de los aplicativos utilizados en la fase de prueba.

Las características con las que un sistema debe cumplir, para que su ciclo de vida sea largo son:

Robustez con que fue desarrollado, ya que si el sistema se comporta razonablemente bien en situaciones en las que no fueron especificadas por los requerimientos, pocas veces puede fallar.

Eficiencia, ya que un sistema se considera eficiente si no demanda demasiados recursos físicos de operación para ejecutar sus tareas. Dentro de las herramientas de medición de eficiencia se encuentran, el análisis de complejidad algorítmica, medición análisis y simulación.

Poca vulnerabilidad, ya que el sistema debe ser resistente a posibles ataques hacia el que afecten su estabilidad, debido a que todo sistema debe cumplir con tener mucha cohesión y poca dependencia de los módulos que lo componen para evitar posible pérdida de información del sistema, así como el funcionamiento en mayor porcentaje del mismo en caso de un ataque.

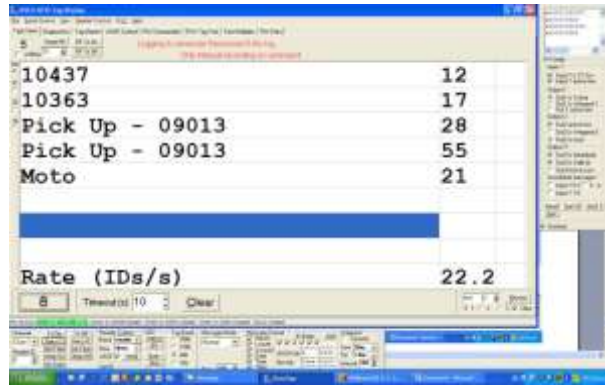


Figura 3.8.- Pantalla de visualización utilizada en las pruebas.

3.3.5 Middleware (Software entre el lector y el aplicativo)

El middleware es un componente importante para las aplicaciones de identificación RFID ya que es el encargado de filtrar, gestionar y consolidar los datos obtenidos por el lector hacia las aplicaciones que requieran de esta información. El tiempo de vida durante la operación del sistema depende mucho de la actualización que del proveedor de este software para corregir posibles fallas que se pudieran presentar durante el funcionamiento del mismo.

En la figura 3.9 se puede ver algunas funciones que un middleware puede realizar.

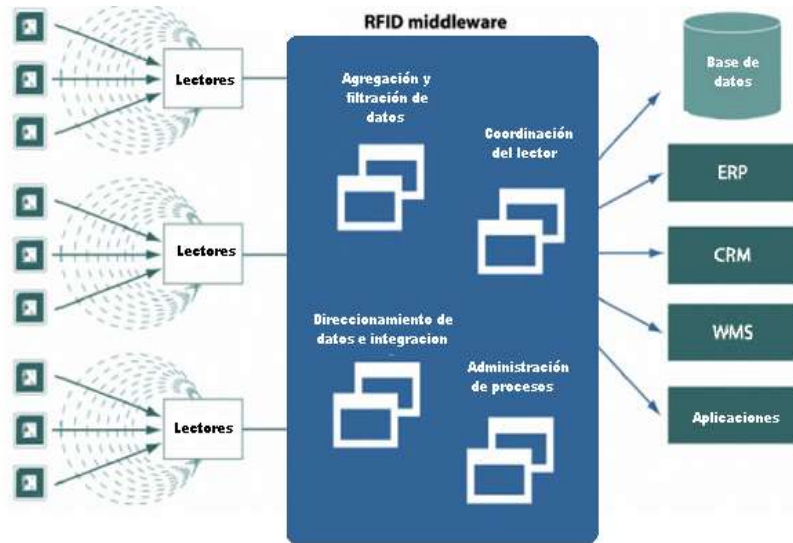


Figura 3.9.- Algunas funciones del Middleware.

3.4 Proceso de Evaluación de Tecnologías (pruebas)

Para poder recomendar la mejor solución tecnológica de un sistema que cumpliera con el Registro Público Vehicular por medio de tecnología de radiofrecuencia, se realizaron una serie de actividades que ayudaron a definir la mejor tecnología para el proyecto.

Se realizaron pruebas y verificaciones en campo y en laboratorio a las opciones tecnológicas con el fin de evaluar el desempeño de la tecnología en aspectos de:

- Lecturas del tag a diversas velocidades.
- Lecturas del tag en condiciones estaticas.
- Lecturas del tag diversas distancias (tag-lector).
- Lectura de múltiples tags.
- Lectura con presencia de elementos de interferencia.
- Verificación Cumplimiento a regulaciones nacionales.
- Opciones de normalización.
- Arquitecturas de soluciones.
- Opciones de crecimiento.
- Análisis del desempeño esperado en la comunicación por radiofrecuencia.

3.4.1 Pruebas de lectura a velocidades superiores a 80km/h.

Las pruebas realizadas en un sitio abierto para verificar la identificación de autos circulando a velocidades constantes en el intervalo de 80km/h – 160km/h, éstas se llevaron a cabo en el Autódromo Hermanos Rodríguez ubicado en la Delegación Venustiano Carranza de la Ciudad Deportiva en la colonia Magdalena Mixhuica.

3.4.1.1 Pruebas a la tecnología RFID pasiva

El protocolo de pruebas que se aplicó, es de acuerdo a los componentes que forman el sistema básico de la tecnología de RFID, que son lector, antena y etiqueta. Un diagrama a bloques que esquematiza dicho sistema se muestra en la figura 3.10.

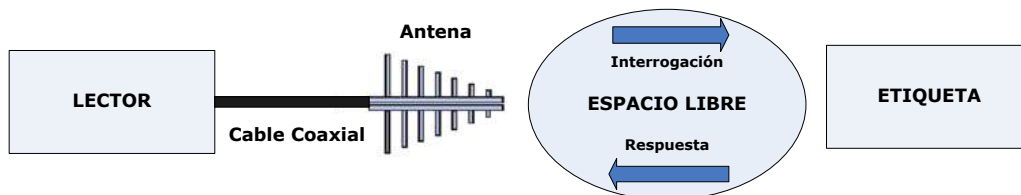


Figura 3.10.- Sistema básico de la tecnología RFID.

Los datos medidos para el control y caracterización de los componentes se presentan en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 en donde se muestran las mediciones el tipo de parámetro a ser medido.

Tabla 3.1.- Parámetros para las lectoras.

Parámetros	Nominal	Medida
Impedancia	50 Ohms	50 Ohms ± 2 Ohms
Potencia	30 dBm (1 Watt)	32.5 dBm ± 1 dBm

Tabla 3.2.- Medición de parámetros para cable coaxial

Parámetro	Valor Nominal	Medida
Impedancia	50 Ohms	50 Ohms ± 2 Ohms
Pérdidas	0.1 dB/m	0.12 dB/m ± 0.02 dB/m

Tabla 3.3.- Medición de parámetros para antenas tipo parche.

Parámetro	Nominales	Medidos
Impedancia	50 Ohms	50 Ohms ± 2 Ohms
ROE, Relación de onda estacionaria	1.1	1.3 ± 0.3
Ganancia	12 dBi	12 dBi ± 2 dB

Tabla 3.4.- Medición de parámetros para antena tipo Yagi

Parámetro	Nominales	Medidos
Impedancia	50 Ohms	50 Ohms
ROE, Relación de onda estacionaria	1.1	1.3 ± 2
Ganancia	6 dBi	6 dBi ± 1 dB

La distribución de señal radioeléctrica en el área de detección es aleatoria por las reflexiones que generan múltiples trayectorias, esta distribución se muestra en las figuras 3.11 y 3.12:

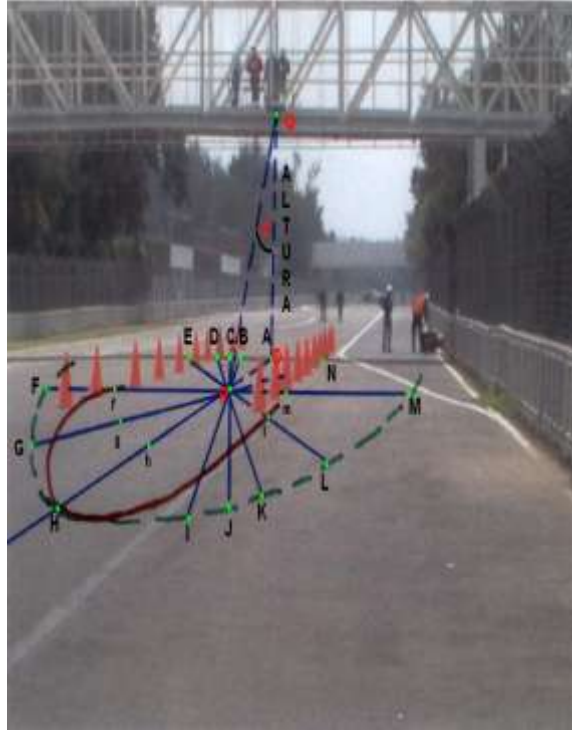


Figura 3.11.- Diagrama del área de detección de señal

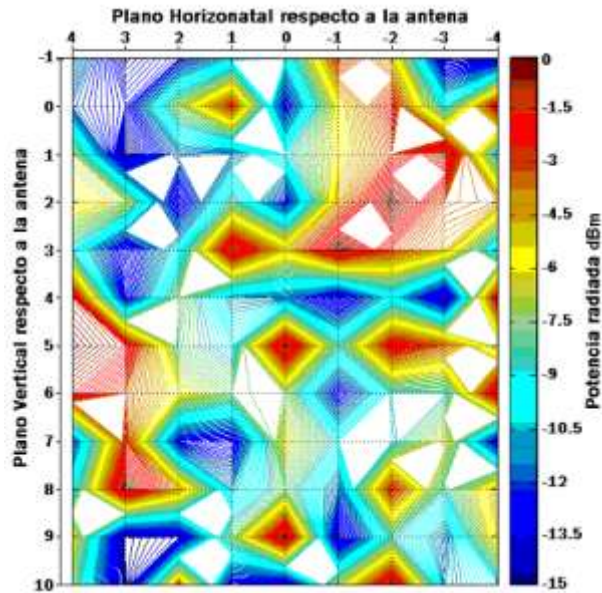


Figura 3.12.- Distribución de señal radioeléctrica en el área de detección.

Los resultados de respuesta a las velocidades se resumen en las tablas 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 que contienen las tablas correspondientes. Es importante observar que los porcentajes de éxito de lecturas se obtuvieron tomando en cuenta a todas las soluciones presentadas por todos los proveedores.

Tabla 3.5.- Resultados medidos a 120km/h de velocidad

VEHICULO	% de lecturas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHARGER 10362	100%	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10366	100%	√	√	√	√	x	√	√	√	√	√
PICK UP 09071	90%	√	√	√	√	√	√	√	x	√	√

Tabla 3.6.- Resultados medidos a 140km/h de velocidad

VEHICULO	% de lecturas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHARGER 10362	80%	√	√	√	√	¿	√	√	√	√	¿
CHARGER 10366	80%	√	√	√	√	¿	√	√	√	¿	√
PICK UP 09071	80%	√	√	√	√	√	√	¿	√	¿	√

Tabla 3.7.- Resultados medidos a 160 y 180km/h de velocidad.

VELOCIDAD		160km/h	180km/h
VEHICULO	% de lecturas	1	2
CHARGER 10362	70%	*√	*√
CHARGER 10366	70%	*√	*√
PICK UP 09071		NO SE REALIZO	NO SE REALIZO

Tabla 3.8.- Resultados medidos a 80km/h de velocidad.

VELOCIDAD 80km/h											
VEHICULO	TAG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MOTO 3101D	100%	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
VELOCIDAD 120km/h											
MOTO 3101D	80%	√	√	√	√	√	√	√	√	¿	¿

3.4.1.2 Pruebas a la tecnología RFID activa

La tecnología RFID activa está formada por un lector y etiquetas que tienen una antena integrada. Por esta razón no se midieron las impedancias ni las potencias de salida de los transmisores/receptores. En este caso la etiqueta está alimentada por una batería conectada todo el tiempo, por lo que emite constantemente señal de radiofrecuencia y el lector es básicamente un receptor. Las mediciones del espectro de potencia emitido por las etiquetas activas a 433 MHz y 915 MHz se muestran en las figuras 3.13 y 3.14.

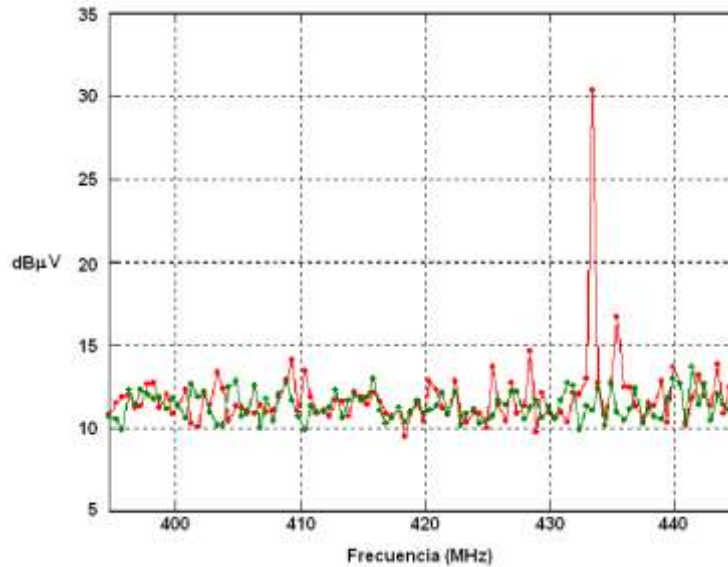


Figura 3.13- Medición del espectro para tag activo a 433 Mhz.

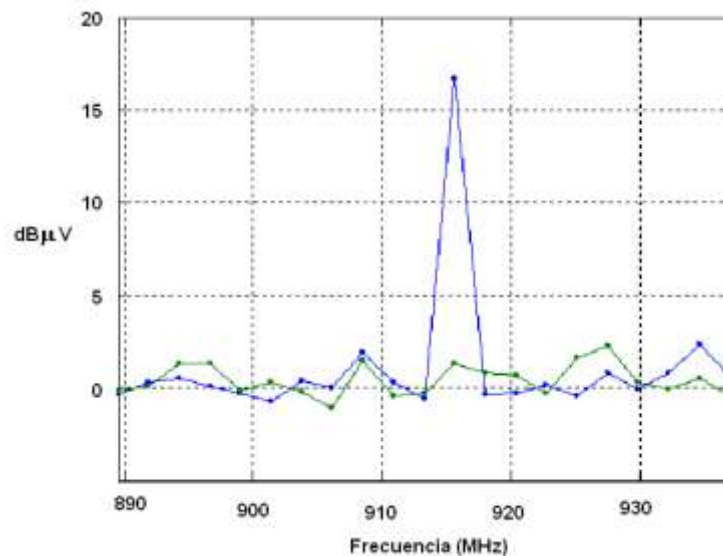


Figura 3.14.- Medición del espectro para tag activo a 915 Mhz.

En las tablas 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 se muestran los resultados que se obtienen a diversas velocidades.

Tabla 3.9.- Resultados obtenidos a 80km/h de velocidad

VEHÍCULO	% de lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHARGER 10362	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10366	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10411	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Tabla 3.10.- Resultados medidos a 120km/h de velocidad

VEHÍCULO	% de lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHARGER 10362	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10366	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10411	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Tabla 3.11.- Resultados medidos a 140km/h de velocidad

VEHÍCULO	% de lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHARGER 10362	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10366	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
CHARGER 10411	100	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Tabla 3.12.- Resultados medidos a 160km/h de velocidad

VELOCIDAD		160km/h
VEHÍCULO	% de lectura	1
CHARGER 10428	100	√
CHARGER 10411	100	√

3.4.2 Pruebas de Lectura sin movimiento

A continuación se presenta un resumen de los resultados de las pruebas de funcionalidad de tecnologías RFID realizadas del 28 al 31 de mayo de 2007, en el Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México (ITESM-CCM).

El objetivo de las pruebas realizadas fue verificar el funcionamiento y factibilidad de uso de las tecnologías RFID en un registro vehicular. Para este fin se analizaron cuatro distintas soluciones, todas pasivas, recomendadas por cuatro distintos proveedores. Estos tuvieron a su cargo la instalación, el manejo y control de los equipos de identificación por radiofrecuencia.

- Solución A:
 - Lector: Infinity 510 SIRIT
 - Tag: IN33 The spyder RSI ID Technologies
- Solución B:
 - Lector: iPico IP-X UHF High Performance Integrated Reader
 - Tag: iPico IP-X Read/Write UHF RFID ENP Tag. Transparent, adhesive strip for windscreen.
- Solución C:
 - Lector: Encompass 6 Multi-Protocol
 - Tag: Super eGo Plus Sticker
- Solución D:
 - Lector: Neology RFID U514 Read System
 - Tag: Neology UHF RFID

Para cada solución se realizaron mediciones de las características de transmisión del sistema (potencia de transmisión, ganancia de la antena, etc.), así como medidas de desempeño (en términos de número de lecturas por segundo) con respecto a posición, distancia, y ángulo de rotación (vertical, horizontal, azimutal) del tag. Se hicieron mediciones de desempeño en presencia de interferencias de radiofrecuencia en la banda de operación del sistema y resultados obtenidos en escenarios en donde se quieren leer tres tags pegados en un parabrisas (agrupados vertical y horizontalmente).

Finalmente, se analizaron los efectos negativos que pueden tener en el desempeño del sistema diversos tipos de acciones llevadas a cabo por algún individuo como magnetizar, obstruir o arrancar un tag.

Los valores de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) utilizados por cada proveedor fueron los siguientes:

- Solución A: PIRE=39.15 dBm (3.15 dB por encima de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz).
- Solución B: PIRE= 35 dBm (dentro de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz).
- Solución C: PIRE= 42 dBm (6 dB por encima de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz).
- Solución D: PIRE= 44 dBm (8 dB por encima de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz).

La distancia de lectura del tag varía dependiendo de la potencia transmitida y de la inclinación de la antena. Sin embargo, en todas las mediciones se observaron distancias menores a las que típicamente reportan los fabricantes.

Aunque no se puede hacer comparaciones justas debido a que cada solución operó con potencias e inclinaciones de antena distintas, a continuación en la tabla 3.13 se presenta un cuadro con las distancias de lectura observadas en las pruebas de cada solución:

Tabla 3.13.- Distancias observadas en la lectura

Solución	Rango de distancias de lectura
A	1.8 – 8.5 metros *
B	0.75 – 4.25 metros
C	0.25 – 4.25 metros **
D	0.25 – 6.25 metros ***

Comentarios:

*PIRE 3.15 dB por encima de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz. Se debe esperar que la distancia máxima sea menor cuando el sistema opere bajo la norma.

**PIRE 6 dB por encima de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz. Se debe esperar que la distancia máxima sea menor cuando el sistema opere bajo la norma.

***PIRE 8 dB por encima de la norma establecida por COFETEL para la banda ISM de 902-928 MHz. Se debe esperar que la distancia máxima sea menor cuando el sistema opere bajo la norma.

Se muestra también en la tabla 3.14 el cuadro con los ángulos de rotación que ocasionan cero lecturas por segundo:

Tabla 3.14.- Ángulos de rotación que ocasionan lectura cero.

Solución	Ángulo de rotación horizontal	Ángulo de rotación vertical	Ángulo de rotación azimutal
A	60 grados	60 grados	90 grados
B	25 grados	Ninguno	90 grados
C	70 grados	Ninguno	90 grados
D	40 grados	90 grados	45 grados

En la tabla 3.15 se muestran los porcentajes de reducción del número promedio de lecturas por segundo. Este porcentaje de reducción (aproximado) del número promedio de lecturas por segundo es ocasionado a las distintas interferencias de RF (porcentaje con respecto al número de lecturas promedio obtenido en ambiente sin interferencia):

Tabla 3.15.- Porcentajes de reducción en las lecturas.

Solución	Tono	Barrido de tonos	FM	Barrido FM
A	60%, SIR=-3 50%, SIR=0 30%, SIR=3	60%, SIR=-3 50%, SIR=0 30%, SIR=3	60%, SIR=-3 50%, SIR=0 30%, SIR=3	60%, SIR=-3 50%, SIR=0 30%, SIR=3
B	99%, SIR=-3 96%, SIR=0 89%, SIR=3	88%, SIR=-3 80%, SIR=0 70%, SIR=3	99%, SIR=-3 96%, SIR=0 89%, SIR=3	88%, SIR=-3 80%, SIR=0 70%, SIR=3
C	1%, SIR=-3 2.5%, SIR=0 2.5%, SIR=3	1%, SIR=-3 3%, SIR=0 8.8%, SIR=3	1%, SIR=-3 1.5%, SIR=0 1.5%, SIR=3	9%, SIR=-3 9%, SIR=0 9%, SIR=3
D	30%, SIR=-3 30%, SIR=0 30%, SIR=3	44%, SIR=-3 43%, SIR=0 11%, SIR=3	75%, SIR=-3 75%, SIR=0 75%, SIR=3	63%, SIR=-3 63%, SIR=0 63%, SIR=3

Las lecturas con múltiples tags pegados en el parabrisas, se muestran en la tabla 3.16, se considera para cada uno de los tags alineados en forma horizontal o vertical, el porcentaje de reducción del número promedio de lecturas por segundo con respecto a los valores de lecturas que se obtienen cuando hay un solo tag pegado en el parabrisas en ambientes sin interferencias.

Tabla 3.16.- Lecturas con múltiples tags pegados en el parabrisas.

Solución	Tags alineados verticalmente	Tags alineados horizontalmente
A	59%, tag superior 0%, tag central 89.6%, tag inferior	0%, tag izquierdo 56%, tag central 0%, tag derecho
B	36%, tag superior 33%, tag central 100%, tag inferior	20.5%, tag izquierdo 20.5%, tag central 23%, tag derecho
C	7%, tag superior 0%, tag central 0%, tag inferior	0%, tag izquierdo 0%, tag central 0%, tag derecho
D	99%, tag superior 100%, tag central 91%, tag inferior	70%, tag izquierdo 92%, tag central 44.5%, tag derecho

Todas las soluciones probadas fallaron cuando se colocó un imán o una lata de aluminio detrás o frente a la etiqueta.

Las mediciones realizadas en este protocolo de pruebas son estáticas, es decir, la distancia entre la lectora y el tag es constante y por lo tanto los resultados consideran casos ideales.

Un auto permanece en la huella de transmisión de una lectora un intervalo de tiempo mucho menor a 1 segundo por lo que, si en escenarios estáticos el sistema genera valores de lecturas por segundo marginales (cerca de cero), seguramente este sistema fallará cuando el tag esté montado en un auto en movimiento.

3.4.3 Pruebas a velocidades menores a 80 km/h

En el Instituto Politécnico Nacional se llevaron a cabo pruebas de campo a seis sistemas de la tecnología RFID para analizar su aplicación al registro y control vehicular. Cuatro de dichos sistemas fueron de tecnología pasiva y dos de tecnología activa.

Pruebas de campo:

Las pruebas de campo consistieron en:

Tecnología RFID pasiva

- Identificación de vehículos a velocidades de 40 km/h y 60 km/h.
- Distribución de la señal radioeléctrica en la zona de iluminación de antena transmisora (lector o etiqueta).
- Funcionalidad de las etiquetas pasivas de acuerdo al ángulo de inclinación en el parabrisas.

- Funcionalidad frente a condiciones destructivas.

Tecnología RFID activa

- Identificación de vehículos a velocidades de 40 km/h y 60 km/h.
- Cobertura.

Pruebas de campo de la tecnología RFID se realizaron en un estacionamiento de la Unidad Adolfo López Mateos del Instituto Politécnico Nacional. El estacionamiento que se ubica en el CIDETEC, tiene una vía libre de aproximadamente 110 m de longitud, donde se alcanzaron las velocidades de 40 km/h y 60km/h. Una fotografía del sitio se muestra en la figura 3.15.



Figura 3.15.- Sitio de pruebas de campo de la tecnología RFID en el IPN.

3.4.3.1 Resultados de las pruebas de la tecnología pasiva.

Identificación de vehículos: Los vehículos se hicieron pasar diez veces dentro de la zona iluminada por la antena del lector de la tecnología RFID. Los cuatro sistemas que se instalaron leyeron las etiquetas tanto a 40km/h como a 60 km/h. En el primer caso se tuvieron repeticiones de lecturas de la etiqueta máximas de 104 y mínimas de 32; en el segundo caso las repeticiones de lecturas máximas fueron de 82 y mínimas de 20. Esto permite concluir que el número de lecturas disminuye conforme aumenta la velocidad.

Distribución de la señal radioeléctrica: La zona iluminada por la antena de las lectoras de la tecnología de RFID se midió con un radiorreceptor y un analizador de espectros, los resultados promedio así como el esquema de medición se muestran en la figura 3.16.

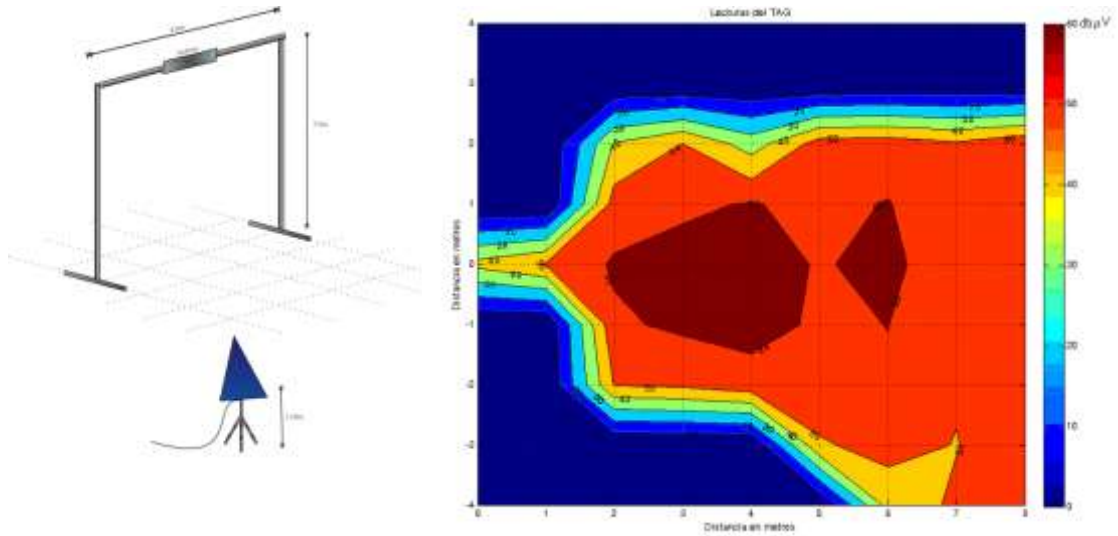



Figura 3.16.- Distribución de la señal radioeléctrica y su esquema de medición.

Funcionalidad de las etiquetas pasivas de acuerdo al ángulo de inclinación: Para esta prueba se giro la etiqueta hacia la derecha y hacia la izquierda tomado como referencia la posición horizontal. Los resultados se dan para los ángulos a partir de los cuales se pueden asegurar lecturas, ver tabla 3.17.

Tabla 3.17.- Lecturas en diferentes ángulos de inclinación.



Sistema	Grados
1	15°
2	75°
3	45°
4	60°

Funcionalidad a pruebas destructivas: Las etiquetas se despegaron del parabrisas y se volvieron a pegar, en general los cuatro sistemas no presentaron falla. Una de las pruebas destructivas que se realizó, solo a un sistema, fue la de seccionar la etiqueta (antena) con una navaja haciendo una ranura de aproximadamente un milímetro, esta etiqueta se podía leer si se cambiaba de posición.

3.4.3.2 Pruebas con la tecnología RFID activa

Identificación de vehículos a velocidades de 40 km/h y 60 km/h: Esta prueba se realizó haciendo circular un vehículo diez veces una trayectoria

aproximadamente 100 metros, la antena se fijo a dos metros del carril de circulación y en todos los casos se tuvo éxito de lectura. Los proveedores no proporcionaron el número de lecturas.

Cobertura: Esta prueba se realizó retirando el lector, en línea recta respecto a la antena receptora teniendo una altura de 3.5 metros, la distancia máxima a la cual se obtuvieron lecturas fue de 60 metros.

3.4.4 Pruebas de laboratorio

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Instrumentación Electrónica de la Sección de Estudios de Posgrado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica del IPN.

Las pruebas de laboratorio consistieron en:

Tecnología RFID pasiva

- Potencia radiada dentro de una cámara anecóica.
- Funcionalidad de la etiqueta pasiva respecto al ángulo del azimut
- Funcionalidad respecto a una señal interferente.

Tecnología RFID activa

- Potencia radiada por la etiqueta.
- Funcionalidad respecto a señal interferente.

3.4.4.1 Resultados de las pruebas de la tecnología pasiva.

Potencia radiada dentro de una cámara anecóica: Se midió con una analizador de señales R&S FSIQ3 dentro de una cámara anecóica, en la cual no se tiene reflexiones. Los resultados de la potencia radiada se muestran en la tabla 3.18.

Tabla 3.18.- Potencia radiada dentro de una cámara anecóica

Sistema	Potencia Radiada
1	4.2 Watts
2	4 Watts
3	8.3 Watts
4	3.85 Watts

Funcionalidad de las etiquetas pasivas de acuerdo al ángulo del azimut: Para esta prueba se giró la etiqueta hacia la derecha y hacia la izquierda tomado como referencia la posición vertical (90°). Los resultados se dan para los ángulos a partir de los cuales se pueden asegurar lecturas, los resultados se muestran en la tabla 3.19.

Tabla 3.19.- Diferentes ángulos de Azimut



Sistema	Grados
1	45°
2	65°
3	45°
4	75°

Funcionalidad respecto a una señal interferente:

En esta prueba se emitió una señal dirigida hacia la etiqueta con frecuencia igual a la de las portadoras de sistema de RFID (915 MHz), la separación entre fuente interferente y etiqueta fue de 2.5 metros. Para esto se utilizó un generador de radiofrecuencia con opción de modulación en AM y FM; una antena semi-logarítmica con ganancia de 5 dBi, factor de antena de 27 dB/m. El cable coaxial usado presentó una pérdida de 3dB. Los niveles de campo eléctrico que mostraron un bloqueo a la respuesta de identificación de la etiqueta (número de lecturas) se muestran en la tabla 3.20.

Tabla 3.20.- Señal interferente

Sistema	Campo Eléctrico
1	86 $dB\mu V/m$
2	94 $dB\mu V/m$
3	96 $dB\mu V/m$
4	90 $dB\mu V/m$

3.4.4.2 Tecnología RFID activa

Para la tecnología RFID activa se probaron dos sistemas uno a 915 MHz y otro a 433 MHz, los cuales se sometieron a pruebas de alcance, potencia isotrópica radiada emitida por la etiqueta y nivel de campo eléctrico al cual pueden ser interferidos. Los resultados se muestran en las tablas 3.21 y 3.22

Tabla 3.21.- Potencia isotrópica radiada para cada sistema.

Sistema	P (PIRE)
1	$42\mu W$
2	$39.4\mu W$

Tabla 3.22.- Señal interferente

Sistema	Campo Eléctrico
1	$83.8dB\mu V/m$
2	$83.5dB\mu V/m$

3.5 Sistema de Soporte a Toma de decisiones

El análisis de las distintas tecnologías para el registro público vehicular se ha circunscrito a los tags pasivos y activos. Se abordó una primera etapa consistente en la descripción de las terminologías, destacando las características de cada una de ellas; ahora bien, contando con esta de información ¿Cuál de estas tecnologías es la más conveniente? La respuesta a esta interrogante está fuertemente vinculada con lo que se espera de ella y con la valoración de las variables tecnológicas en función de los resultados esperados y obtenidos.

Se han establecido cinco características deseables en la solución:

- Que sea una tecnología robusta.- Esto es, que no falle, que dure y que no sea vulnerable a condiciones ambientales y a daño o influencias externas.
- Que sea segura.- Que minimice la posibilidad de clonar los dispositivos, de copiar la información, de modificarla y de intervenir o bloquear su operación.
- Que se base en estándares.- Esto es, que permita la participación abierta del mercado en proveer los elementos y medios tecnológicos para su establecimiento y permita asimismo, la integración de las soluciones que cada entidad desarrolle para potenciar su uso.
- Que sea económica.- Esto es, que dentro de las distintas alternativas se considere la mejor relación beneficio-costos.
- Que cumpla con la funcionalidad requerida.- Esto es, que sea útil para los objetivos de la Ley del Registro Vehicular y contribuya a la seguridad de las personas y su patrimonio.

La selección de una solución tecnológica particular, como la mejor solución al problema del registro, depende de los objetivos de este y de sus bondades, así como las restricciones de la tecnología.

Una solución que pueda satisfacer tanto los propósitos como las condiciones o restricciones del problema podría recibir el nombre de una solución óptima. Esto es claro en problemas determinísticos y cuantitativos, no así cuando se trata de preferencias o calificaciones subjetivas dadas a los distintos factores que entran en juego a juicio de los involucrados en la solución, como es el caso.

Desde el siglo XVI con Newton y Leibnitz las matemáticas han contribuido a la solución de problemas donde existen una serie de combinaciones posibles para seleccionar de ellas la mejor. El cálculo diferencial e integral resolvió muchos de estos problemas de “optimización” pero al mismo tiempo eran herramientas limitadas para resolver problemas que involucran un número significativo de variables, que tienen que considerar en forma simultánea restricciones y por la dificultad de disponer de “funciones”

operadas con el cálculo diferencial e integral que modelaran o representaran adecuadamente el comportamiento de la realidad.

Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron diversas técnicas de “optimización” para la toma de decisiones ante muchas posibles combinaciones, todas estas técnicas se agruparon dentro de lo se denominó la “investigación de operaciones”, campo de las matemáticas aplicadas que establecían procedimientos para modelar y converger rápidamente a las soluciones óptimas.

Con el desarrollo de las computadoras se impulsó más rápidamente el álgebra lineal con la que fue posible representar más fácilmente diferentes fenómenos por complejos que éstos fueran, perdiendo terreno el cálculo diferencial e integral para la solución de problemas de optimización; en un cierto sentido podría decirse que lo digital sustituyó a lo analógico. La evolución del cómputo electrónico ha permitido el desarrollo de herramientas que conjuntan distintas técnicas matemáticas y de decisiones facilitando con ello la selección de soluciones óptimas, acompañadas del análisis de sensibilidad; impacto que se tiene en los resultados al cambiar valores o comportamientos en las variables involucradas.

Estos sistemas de apoyo para la toma de decisiones se les ha llamado de diferente manera: “análisis en las decisiones multi-criterios”, “Decisión Multiobjetivo” y otros.

3.5.1 Criterios

Para la evaluación de las tecnologías el Sistema Nacional de Seguridad Pública estableció que:

“LA UNAM deberá proveer de elementos para soportar la toma de decisiones por el Ejecutivo Federal en materia de características del sistema de identificación vehicular basado en tecnología RFID, que deberá poner en marcha en todo el país. Para hacerlo, desarrollará un esquema basado en análisis de criterio múltiple con las variaciones de tecnología como alternativas de elección y una serie de criterios como determinantes de la evaluación.”

Se considerarán al menos cada uno de los siguientes criterios:

- Casos de éxito de la tecnología en la operación de sistemas de identificación y control de parques vehiculares en gran escala;
- Confiabilidad y desempeño de los sistemas de control vehicular con tecnología RFID (verificada a través de pruebas de laboratorio, de campo y simulaciones);
- Resistencia a condiciones de operación extremas (verificada a través de pruebas de laboratorio, de campo y simulaciones) incluyendo resistencia al calor, al frío, a la lluvia, a la humedad y a otros factores, así como a factores externos como vibración y sustancias químicas;
- Interferencias con los elementos del sistema RFID provenientes del

entorno resultantes de la naturaleza y las generadas por el hombre (verificada a través de pruebas de laboratorio, de campo y simulaciones);

- Problemas de compatibilidad operativa con los sistemas de los vehículos existentes en el país o que se conozca se comercializarán en el futuro;
- Grados de seguridad de la información;
- Riesgos de falsificación de las etiquetas de identificación vehicular RFID;
- Mecanismos tamper-proof;
- Posibilidad de que pueda ser anulado uno o más elementos del sistema de identificación vehicular RFID;
- Investigación de mercado a nivel internacional;
- Costo de una unidad de engomado autoadherible con tag RFID, en sus distintas modalidades;
- Costo de una unidad escritora de tags RFID, en sus distintas modalidades;
- Costo de una unidad lectora de tags RFID portátil, en sus distintas modalidades;
- Costo de una unidad lectora de tags RFID montable en vehículo;
- Costo de una unidad lectora de tags RFID de antena;
- Costo integral (incluyendo red de comunicación adicional a la ya existente en la Red Nacional de Telecomunicaciones del SNSP y a la que resultará de la puesta en marcha de la Plataforma México) del sistema de identificación vehicular RFID del REPUVE, incluyendo adquisición, implantación, mantenimiento y en su obra civil, así como aquellos relativos a la reposición de las tags RFID, por agotamiento de la batería (en el caso de las tags activos por ejemplo);
- Capacidad de que los componentes sean producidos en masa en periodos de tiempo apropiados (ver parámetros de evaluación);
- Relación costo/beneficio;
- Interoperabilidad entre etiquetas, escritoras, lectoras, antenas y procesadores de información, fabricados por diferentes marcas;
- Posibilidad de ser “secuestrado” por una compañía o proveedor en el proceso;
- Viabilidad de generar un sistema abierto de proveedores;
- Eficacia en la instrumentación y operación a nivel nacional de un sistema de identificación vehicular RFID en sus distintas modalidades, considerando los factores que pueden incidir en la misma;
- Capacidad para correlacionarse con e integrarse a los sistemas existentes al seno del Sistema Nacional de Seguridad Pública;
- Impacto sobre objetivos de seguridad pública;
- Vida futura de la tecnología; y
- Escalabilidad de la tecnología.

3.5.2 Pesos relativos de criterios

Preparación a través de un esquema de proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), preferentemente en Expert Choice 2000, programa compatible o alguna otra opción de software “freeware”.

La recomposición del problema en la estructura jerárquica será discutida con el personal del Sistema Nacional de Seguridad Pública.

Cada una de las alternativas de sistema de identificación vehicular basado en las distintas modalidades de tecnología RFID serán evaluadas conforme a los criterios utilizados en el proceso en una escala numérica (no nominal) estandarizada (de 0 a 1, 0 a 10 ó 0 a 100) documentando claramente la razón por la cual en cada caso recibe el valor correspondiente.

3.5.3 Identificación del Problema

Es la situación que se desea resolver mediante la selección de una de las alternativas de las que se dispone o la priorización (ranking) de ellas.

Dichas alternativas serán comparadas unas con otras mediante la evaluación de criterios establecidos que permitan conocer los pros y los contras incorporados en cada una de ellas.

Normalmente se requiere invertir varias horas para identificar el problema real y principal, lo cual puede darse después de una serie de discusiones en las que se han listado muchos problemas y es necesario priorizarlos y decidir cuál se seleccionará para su análisis.

Ejemplo:

La decisión a la que se enfrenta el Secretario Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública para seleccionar la mejor tecnología para el registro público vehicular.

Definición del Objetivo

Un objetivo es una dirección identificada para mejorar una situación existente. El objetivo está en un nivel independiente y los otros elementos de la jerarquía que serán los sub-objetivos o criterios, sub-criterios y alternativas apuntan en conjunto a la consecución del mismo.

Hay objetivos de largo, mediano y corto plazo y esta diferenciación influirá directamente en la construcción del modelo jerárquico.

El objetivo u objetivos serán establecidos por el grupo decisor involucrado. Vale la pena tener en cuenta que la definición de objetivos puede de ser una tarea difícil porque algunas veces serán contrapuestos entre las personas. No obstante, los objetivos determinados finalmente deben representar las necesidades e intereses generales.

Ejemplo:

Se desea contar con un medio o dispositivo seguro de RFID que permita registrar y automatizar la identificación de vehículos. Luego entonces, el objetivo es evaluar y seleccionar la mejor tecnología para este propósito.

3.5.4 Identificación de Criterios

Son las dimensiones relevantes que afectan significativamente a los objetivos y deben expresar las preferencias de los implicados en la toma de decisión.

Se deben incluir aspectos vitales cuantitativos y cualitativos a tener en cuenta en la toma de decisión. Normalmente hay aspectos cualitativos que pueden incidir fuertemente en la decisión, pero que no son incorporados debido a su complejidad para definirles algún esquema de medición que revele su grado de aporte en el proceso de toma de decisión.

Ejemplo: los criterios a calificar que corresponden a los atributos deseables para la solución tecnológica del registro vehicular así como los sub-criterios que le dan concreción son:

3.5.5 Variables que determinan las Características.

Para el Registro Público Federal las variables que determinan las características de la tecnología RFID son las siguientes:

3.5.5.1 Efectividad.

“Que sea una tecnología robusta, probadamente buena, no susceptible a fallas, inafectable, con el soporte y capacidad del fabricante necesarios para las exigencias del proyecto.”

- Tag estático
 - Antena lectora –Intensidad del campo radiado: especificación vs medida.
- Antena lectora – Cobertura: especificación vs. Medida.
 - Tag –Intensidad del campo electromagnético radiado: especificación vs medida.
- Tag – Cobertura: especificación vs. Medida.
 - Interferencias en el dispositivo (inmunidad a campos electromagnéticos radiados).
- Bloqueo o interferencias en la lectura del tag.
- Interferencias del sistema de RFID a sistemas de los vehículos.
- Lecturas en condiciones de humedad.
- Distancia máxima de identificación de la señal por la antena lectora; medición de sensibilidad.

- Capacidad de lectura y escritura.
- Capacidad de encriptación.
- Colisiones; interferencia por la presencia de múltiples Tags.
- Tag en movimiento.
- Lectura efectiva en el carril a varias velocidades con Tag en el parabrisas.
- Lectura en varios ángulos del plano del tag con el plano de la antena Lectora.
- Colisiones; interferencia por la presencia de múltiples Tags.
- Casos de éxito internacional (experiencia en el uso de la tecnología)
- Evaluación de proveedores (capacidad de producción, oportunidad, soporte)

3.5.5.2 Seguridad

“Que la tecnología minimice la posibilidad de tener acceso a la información, a la reproducción de dispositivos y a la inhibición de su operación con fines ilícitos.”

Seguridad física.

- Susceptibilidad del Tag a ser afectado físicamente por uso
- Susceptibilidad del Tag a ser afectado físicamente por vandalismo
- Susceptibilidad a fallas por instalación inadecuada del Tag.

Seguridad lógica.

- Susceptibilidad del Tag a ser leído.
- Susceptibilidad del Tag a ser clonable.
- Susceptibilidad del Tag a ser simulado (Para reproducir su información con otro dispositivo y usarla en otro vehículo).
- Susceptibilidad de intervención en las radiocomunicaciones Tag – Antena.
- Potencialidad a una reversión del uso del Tag a favor de la delincuencia.

3.5.5.3 Normalización

“Que la tecnología cumpla con estándares que permitan abrir el mercado a diferentes proveedores en diferentes componentes, facilite la interoperabilidad entre sistemas y su integración a otras aplicaciones.”

- Cumplimiento de las normas internacionales (EPC Gen2 e ISO 18000-6C).
- Cumplimiento de normas de calidad.

- Frecuencia de operación acorde con normas de COFETEL.
- Interoperabilidad.

3.5.5.4 Costo

“Que el costo sea el menor posible para que en combinación con los beneficios la tecnología se obtenga la mejor relación beneficio costo.”

- Costo
- Infraestructura.
- Antenas lectoras.
- Tags.
- Aplicaciones.
- Costo de oportunidad (tiempos de fabricación y entrega).
- Asimilación comercial de la solución para la expansión de infraestructura.

3.5.5.5 Funcionalidad

“Que la tecnología sirva para asegurar la operación del registro público vehicular y otorgue seguridad pública y jurídica en los actos que se realicen con vehículos.”

- Capacidad para cumplir con el Registro.
- Capacidad para aplicaciones de seguridad.
- Portabilidad de lectoras por policías.
- Portabilidad de lectoras en patrullas.
- Camuflaje
- Capacidad para aplicaciones de gobiernos locales.
- Control de infracciones.
- Control de pago de tenencias.
- Control de verificación de emisiones.
- Control de rutas concesionadas o de servicios: (Recolección de basura, vigilancia, rutas de autobuses)
- Presencia futura y estabilidad de la tecnología.
- Escalabilidad de la tecnología (aprovechamiento de infraestructura e información en actualizaciones tecnológicas).

3.6 Identificación de Alternativas.

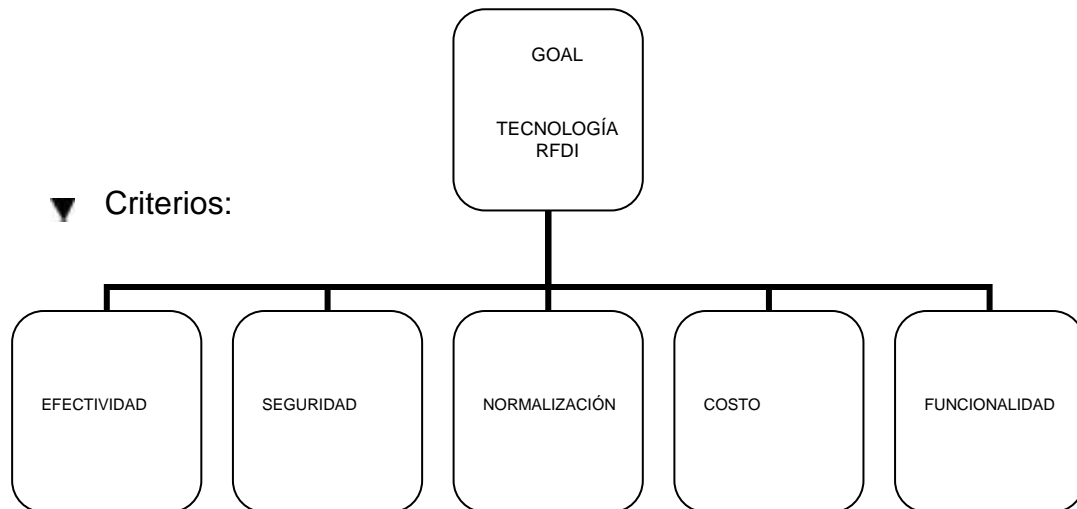
Corresponden a propuestas factibles mediante las cuales se podrá alcanzar el objetivo general. Cada una de las alternativas presenta características con pro y contras.

Ejemplo:

En este caso, las alternativas tecnológicas de RFID que se han considerado corresponden a Tags pasivos y activos; dentro de estos, existen características que son relevantes para efectos de dar satisfacción a la solución necesaria, como es el caso del cumplimiento de normas internacionales que permitan inducir la participación de proveedores en el mercado nacional e internacional; las distintas frecuencias en que operan nuestros sistemas y sus relación con las normas de radiocomunicaciones emitidas por la Cofetel, el costo, las medidas de seguridad y sobre todo que den solución a las distintas funcionalidad deseadas (ver figura 3.17).

Cuando se construye la Jerarquía, se puede hacer de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba.

La construcción de arriba hacia abajo se inicia con la identificación de los criterios globales, es decir desde lo más general hasta lo más particular. De esta manera, todos los aspectos generales recopilados en la definición del problema están presentes en ese primer nivel a manera de criterios.



Alternativas:

Tags pasivos.

Tags activos.

Figura 3.17.- Modelo Jerárquico para seleccionar mejor tecnología RFID.

Cada criterio identificado debe ir acompañado de una descripción de lo que significa. Si se requiere, de los criterios pueden desprenderse sub-criterios. Estos últimos deben guardar una relación jerárquica con el criterio del que se desprenden.

En la construcción de abajo hacia arriba el proceso se desarrolla a la inversa. Primero se generan todas las características que permiten diferenciar entre las alternativas y posteriormente se construye el modelo jerárquico agrupando aquellas características que mantienen un factor común a manera de criterios o sub-criterios, según sea el caso, hasta llegar al objetivo general.

El sentido en que se comienza a construir va a depender de los datos disponibles e inclusive del grupo decisor. Si en la elaboración están definidas las alternativas y se conocen sus pros y contras, se puede iniciar el modelo de abajo hacia arriba. En caso contrario, se recomienda iniciar desde arriba hacia abajo, puesto que es un enfoque para situaciones de planeación estratégica en donde los objetivos están más claros que las alternativas.

3.7 Selección de la Medida.

Antes de continuar con el tema de la evaluación del modelo, vale la pena precisar sobre un concepto relevante del Método AHP: La Medida.

Los seres humanos utilizan en su vida diaria una serie de escalas de medición con unidades como: kilómetros, litros, horas, grados, kilos, etc. Además por la percepción se pueden reconocer otras características de las cosas que están alrededor: Olor, Textura, etc.

El AHP permite justamente incorporar factores cualitativos y cuantitativos a tener en cuenta para dar solución a un problema, para que luego las personas determinen sus preferencias por medio de juicios. El AHP representa esos juicios por medio de números, generando una escala de medida.

A través de una secuencia matemática, el AHP sintetiza los juicios y entrega un resultado.

Las dos clases de medida que se pueden utilizar en el AHP son medida relativa y medida absoluta. Inclusive se puede hacer una combinación de ambas.

La medida relativa

- Esta se utiliza cuando el número de alternativas es hasta de 7.
- En esta medida, el modelo se evalúa por medio de comparaciones entre criterios, subcriterios y las alternativas. Estas últimas se comparan frente a un tercer elemento común para ambas.
- Una vez evaluado todo el modelo, la medida relativa entrega las alternativas priorizadas de la mejor a la peor.

La medida absoluta.

- Con la medida absoluta se pueden manejar decenas y/o cientos de alternativas (porque las alternativas no se comparan unas con otras como sí sucede en la medida relativa).
- Consiste en comparar alternativas contra un estándar. Esta escala suele usarse cuando se están resolviendo problemas de selección de personal, priorización de proyectos, evaluación de proyectos de investigación, entre otros.

Cuando se utiliza el módulo Ratings, el modelo se construye igual que en la medida relativa: meta, criterios, sub-criterios. La diferencia consiste en que no se incluyen las alternativas en el modelo. En lugar de alternativas, se generan escalas (cuantitativas o cualitativas) para cada uno de los criterios. Por ejemplo, si existe un criterio: aptitud, la escala para ese criterio puede corresponder a: apto, moderadamente apto, no apto. Y así se deben generar escalas para todos los criterios.

Estas escalas, dependiendo de los criterios, deben ser construidas por los expertos y/o conocedores del área en cuestión (aspectos financieros, económicos, de mercadeo, biofísicos, infraestructura, sociales, culturales, entre otros).

Seguidamente se inician las comparaciones de a pares para conocer las preferencias (los pesos) entre los criterios, sub-criterios y las escalas. De esa forma se obtiene un estándar, contra el cual se evaluará en forma independiente cada una de las alternativas (nótese que las alternativas se evalúan una a una y no de 'a pares' como en medida relativa).

A cada alternativa le corresponderá un puntaje, lo cual generará al final un ranking para el total de ellas, mostrando una lista de la mejor hasta la peor.

Vale la pena aclarar que no debe escogerse obligatoriamente el uso de este enfoque solamente porque el problema incluya una gran cantidad de alternativas.

3.8 Evaluación del modelo

En la evaluación se examinan los elementos del problema aisladamente por medio de comparaciones de a pares. Las evaluaciones o juicios son emitidos por cada analista o grupo de interés.

De esta forma, el éxito en esta etapa dependerá de la inclusión de los grupos de interés o decisores (en el documento se hace referencia a actores) que se verán representados en el modelo construido y podrán evaluar el modelo consensuado de acuerdo con sus intereses y necesidades propios.

Los pasos a seguir para la evaluación de los componentes del modelo jerárquico son:

- Establecimiento de las Prioridades
- Emisión de Juicios y Evaluaciones

Establecimiento de las Prioridades

Una vez se defina el Modelo Jerárquico se determina la importancia relativa de sus partes. Para facilitar el proceso de asignación de juicios y evaluaciones se recomienda priorizar previamente los elementos del modelo.

Ejemplo:

En el caso de las variables o criterios relevantes para calificar soluciones RFID de del registro vehicular se establecieron:

- Efectividad
- Seguridad
- Normalización
- Costo
- Funcionalidad

Emisión de juicios y las evaluaciones

Los juicios son la base del proceso llevado a cabo por AHP. Los juicios pueden estar guiados por información científica, técnica y la dada por la experiencia y conocimientos del grupo decisor útiles para evaluar los diferentes componentes del Modelo. Es esta situación lo que hace al AHP diferente a otros métodos, puesto que dentro de la evaluación del modelo se toman en cuenta los juicios, que en este caso son las opiniones de cada uno de los individuos y/o grupos de interés involucrados en la toma de decisión.

Esta evaluación se realiza por medio de comparaciones binarias (de a pares) frente a un tercer elemento; permite conocer y medir las preferencias de los individuos o grupos de interés (actores) respecto a los diferentes componentes del modelo (criterios, sub-criterios, alternativas).

Cada persona expresa su preferencia haciendo la pregunta apropiada mediante los términos Importancia, Preferencia o probabilidad, asignando un valor numérico, el cual se mide la intensidad de su preferencia.

El AHP dispone de una escala creada por el propio Saaty que mide los juicios emitidos por el grupo decisor (Ver tabla 3.23).

Este paso de la emisión de juicios consiste en que:

- Para cada elemento “e” de un nivel de la jerarquía, se comparan de ‘a pares’ de elementos del nivel inmediatamente inferior, con respecto de su influencia en “e”. Luego se debe encontrar el vector propio asociado al mayor valor propio de la matriz de comparación ‘a pares’:

En Vector propio: Ranking u orden de prioridad Valor Propio: Medida de la consistencia del juicio.

Tabla 3.23.- Escala de Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1.0	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen en igual forma.
3.0	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorece a un elemento por sobre el otro.
5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2.0,4.0,6.0,8.0	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.
Incrementos de 0.1	Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1 (Por ejemplo 5.2 es una entrada válida).	Usados para graduaciones más finas de los juicios.

En la matriz presentada arriba se encuentra la tabla de preferencias para el nivel del Modelo referente a criterios. Se muestra el total de comparaciones que deben realizarse de acuerdo con la tabla 3.24 (con el supuesto de que el modelo tiene 4 criterios C1, C2, C3 y C4).

Tabla 3.24.-Preferencias para el nivel del modelo

Criterios	C1	C2	C3	C4
C1	C1/C1	C1/C2	C1/C3	C1/C4
C2	C2/C1	C2/C2	C2/C3	C2/C4
C3	C3/C1	C3/C2	C3/C3	C3/C4
C4	C4/C1	C4/C2	C4/C3	C4/C4

Por lo tanto a cada posición (celda) de la matriz le corresponderá uno de los valores de la escala de Saaty.

Nótese que:

La comparación del elemento consigo mismo da un valor de 1. (C1/C1, C2/C2, C3/C3, C4/C4).

Las comparaciones ubicadas al lado izquierdo de las sombreadas, tienen una intensidad de preferencia inversa a las ubicadas al lado derecho de las sombreadas. (Axioma No. 1 del AHP referente a reciprocidad).

El proceso se repite hasta agotar todas las comparaciones de los componentes del Modelo (criterios, subcriterios y alternativas).

Las prioridades se ubican en la parte derecha de la matriz y son calculadas por el software para el usuario. Inclusive cuando se digita el valor numérico de un juicio, él automáticamente incorpora el recíproco en la posición (celda) de la matriz que corresponda.

“Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplica todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia” (Thomas Saaty, 1998).

Adicionalmente el AHP muestra las inconsistencias resultantes de los juicios y el valor máximo que las mejoraría. Puede darse por ejemplo, por falta de información de alguno de los actores frente a la evaluación en cuestión y/o por error al tabular el dato de la evaluación. Se considera que un índice de inconsistencia es alto cuando supera el 0.10.

No obstante, si se revisa el juicio y no hay error, no se debe cambiar el juicio para lograr mayor consistencia, puesto que esto no significará mayor precisión.

Esta razón de consistencia la obtiene el programa al comparar la inconsistencia del total de opiniones en esa matriz, con la que se obtendría si los juicios fueran dados de forma aleatoria desde la escala.

La calidad del resultado final dependerá de la fidelidad y rigurosidad con la cual el modelo representa la complejidad del problema en cuestión.

Si la información de apoyo, que se tiene en cuenta para hacer la evaluación no es fidedigna o no se cuenta con expertos o conocedores de los diferentes aspectos de la situación, que por medio de sus conocimientos o experiencias conozcan el problema o no hubo representatividad de los actores afectados o interesados, los resultados no van a ser los mejores.

3.10 Resultados

A continuación se presenta el ejercicio desarrollado con la herramienta de Expert Choice considerando lo siguiente:

- En el ejercicio participó el equipo técnico asigando de la FI de la UNAM.
- Se ponderó la participación de cada miembro del grupo.
- Se incorporaron y calificaron los criterios y subcriterios, mismos que fueron definidos bajo la consideración axiomática del método.
- El resultado final y los resultados parciales se presentan a continuación:

En la figura 3.18, la grafica nos va indicando los resultados parciales de cada subcriterio. En el primer nivel de la jerarquía se muestran los criterios al lado izquierdo y conforman el objetivo. Los valores que resultaron se observan entre paréntesis y representan el 'peso' de cada criterio; arriba a la derecha se muestra el resultado final obtenido

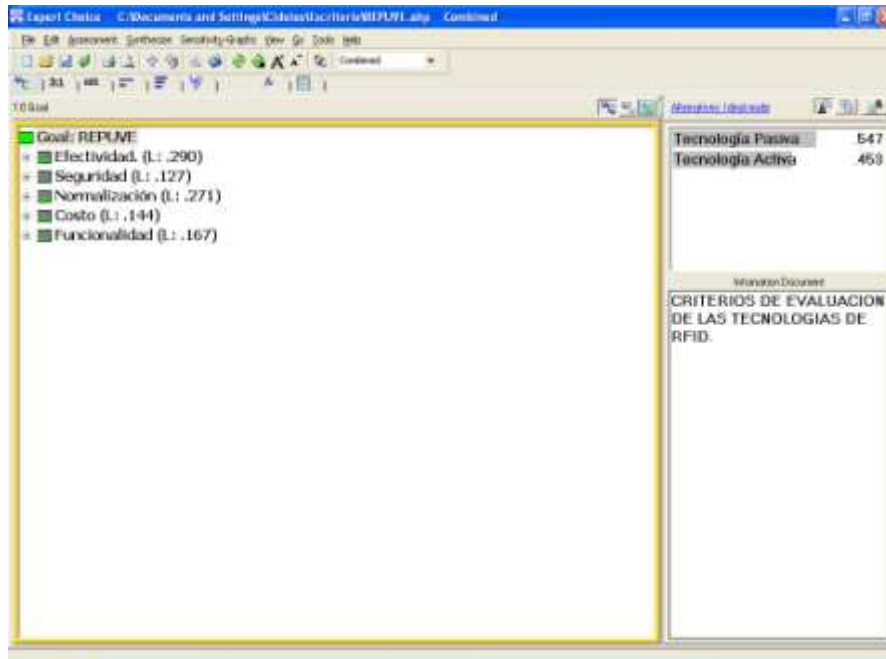


Figura 3.18.- Grafica de criterios y resultados parciales

En la figura 3.19, se nos muestra la ponderación de los criterios y el resultado parcial por criterios.

Investigación Etiquetas RFID para la Identificación Vehicular

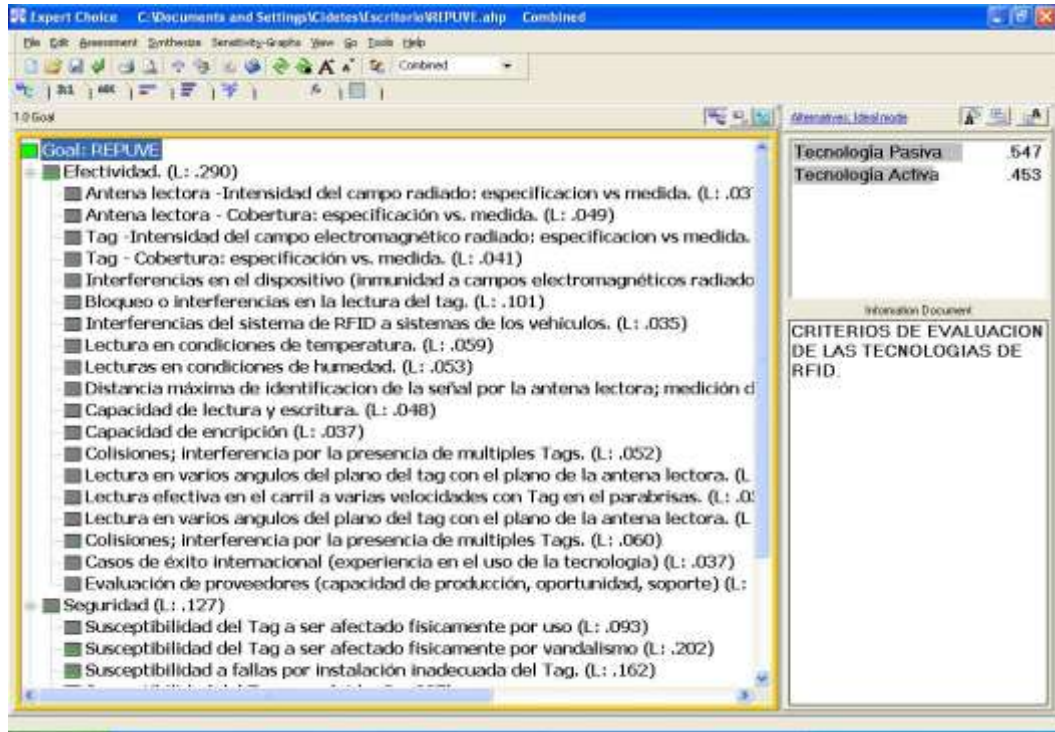


Figura 3.19.- Resultado parcial por criterio.

Al hacer la combinación, el software calcula una tabla de comparaciones que exprese una opinión general de los participantes, en la gráfica 3.20 se muestra la comparación de las alternativas respecto a cada uno de los criterios.

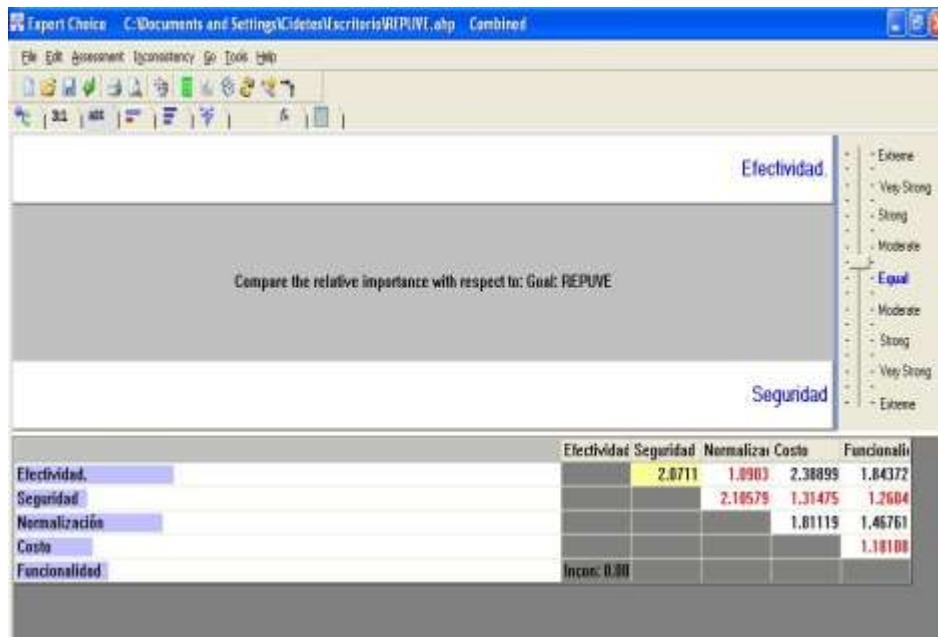


Figura 3.20.- Comparación de criterios.

En la figura 3.21 se muestran cuatro gráficas de sensibilidad. Nos permiten conocer como cambiaría la tendencia de nuestra decisión si cambiáramos nuestra ponderación. Se puede modificar algunos valores y ver en las 4 gráficas como repercute el cambio.

Gráfica superior izquierda. Esta gráfica nos va indicando los resultados parciales de cada subcriterio.

Gráfica superior derecha. Esta gráfica nos muestra la ponderación de los criterios y el resultado final.

Gráfica inferior izquierda. Esta gráfica nos muestra una comparación de las alternativas respecto a cada uno de los criterios.

Gráfica inferior derecha. Esta gráfica nos muestra cara a cara las alternativas con las que trabajamos y nos indica a cuál de ellas favorece cada criterio así como en qué medida lo hace.

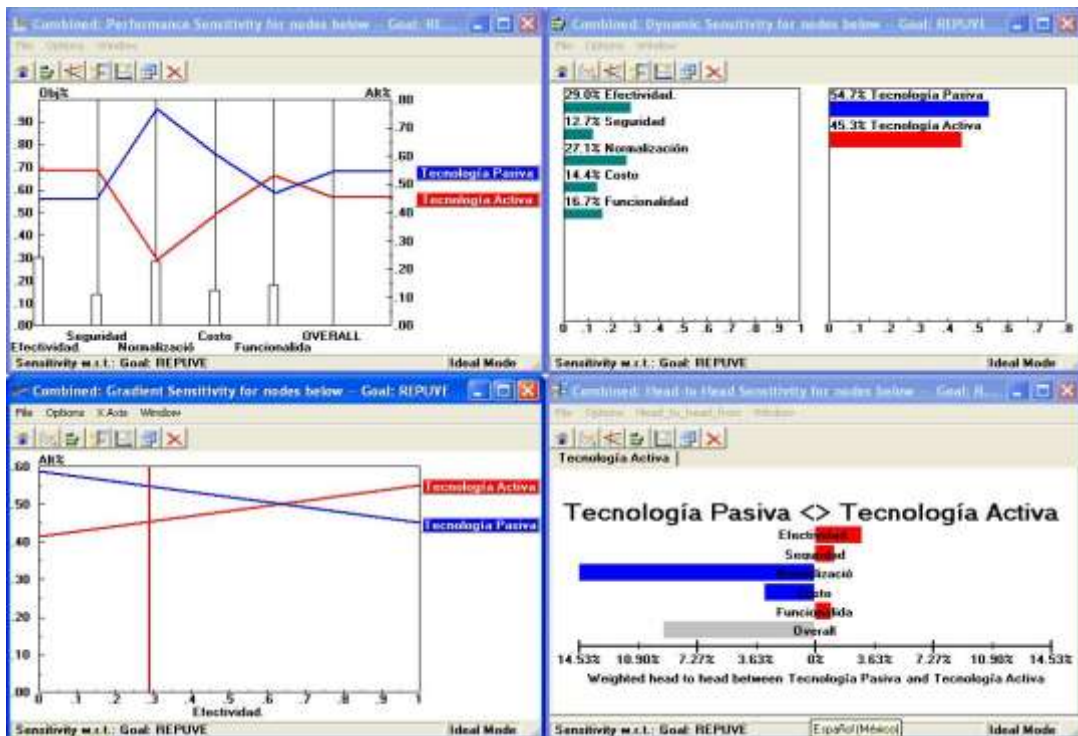


Figura 3.21.- Gráficas de sensibilidad

Una vez realizada la totalidad de comparaciones se obtiene el resultado final consensuado: ordenamiento de las alternativas. Este resultado está basado entonces, en las prioridades, en la emisión de juicios y evaluación hecha a través de las comparaciones de los componentes del modelo jerárquico, llevada a cabo por los actores.

El resultado final del ejemplo, basado en un análisis completo de las distintas alternativas para seleccionar el mejor local disponible fue el siguiente:

ALTERNATIVA A: TECNOLOGÍA PASIVA: 0.547

ALTERNATIVA B: TECNOLOGÍA ACTIVA: 0.453

El índice de inconsistencia estuvo por debajo del 0.10, que lo hace aceptable.

Síntesis

El AHP logra combinar todos los juicios u opiniones en un todo en el cual las alternativas quedan organizadas desde la mejor hasta la peor.

El AHP permite entonces, deducir los pesos que reflejan las percepciones y valores propuestos con mucha precisión. Las prioridades deducidas para cada faceta del complejo problema que está en estudio serán sintetizadas para obtener prioridades generales y una ordenación de las alternativas.

Análisis de Sensibilidad

Este análisis permite visualizar y analizar la sensibilidad del resultado (ordenación de las alternativas) respecto de posibles cambios en la importancia de los criterios (supuestos).

Por ejemplo: ¿qué pasaría si, al criterio 1 le doy más/menos importancia que la dada en la evaluación? ¿Esta situación modifica el ordenamiento de las alternativas obtenido en el resultado final?

Habrán procesos de toma de decisión en los que se requiere volver a aplicar el AHP en un corto o mediano plazo porque son procesos dinámicos que requieren ser revisados y ajustados en el tiempo porque su entorno está en continuo cambio.

3.11 Hojas de trabajo del ejercicio desarrollado.

Se realizó el ejercicio de evaluación entre los principales participantes del proyecto, cada participante tuvo un peso en esta decisión de acuerdo al grado en que haya estado involucrado en las pruebas y en el proyecto.

En la realización de este ejercicio participaron:

- Alberto Lepe
- Raúl Jara
- Luis Vera
- Ramón Garza
- Jaime Plancarte
- Abundio Rodríguez
- Omar Soto
- Pedro Pérez

En las figuras 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30 y 3.31 se muestran las pantallas con los resultados de la evaluación realizada por parte de los principales participantes y el resultado Final combinando las evaluaciones individuales.

ID	PersonName	Combined	Email	Participating	Eval	Location	Weight	Keysaid	Wave	Password	ProjectStatus	EvalCluster	Organization	LastChange
0	CIDETES	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			15							31/07/2007 07:07:42 p.m.
1	Combined	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>										31/07/2007 07:09:50 p.m.
4	alope	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			30	4	1	11PL:1P1w				31/07/2007 07:03:29 p.m.
5	raul	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			40	5	1	11PL:508H				19/07/2007 02:37:37 p.m.
6	luis	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			30	6	1	11PL:024H				26/07/2007 05:26:29 p.m.
7	ramon	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			10	7	1	11P2:080v				20/07/2007 12:50:18 p.m.
8	jara	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			20	8	1	11P1P				19/07/2007 09:01:05 p.m.
9	abundio	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			20	9	1	11P2:FBH				19/07/2007 06:28:42 p.m.
10	oscar	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			15	10	1	11P1P				26/07/2007 06:29:59 p.m.

Figura 3.22.- Pantalla con los resultados de cada uno de los participantes.

Investigación Etiquetas RFID para la Identificación Vehicular

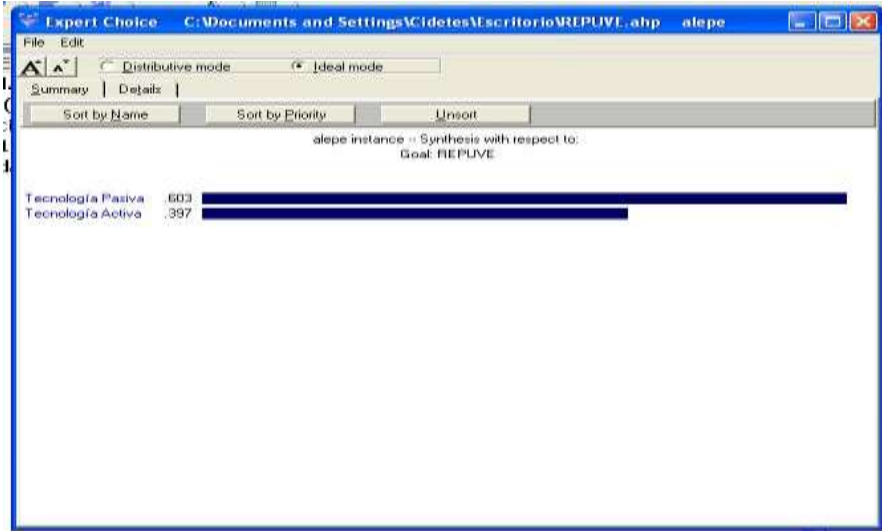


Figura 3.23.- Pantalla con los resultados de Alberto Lepe.

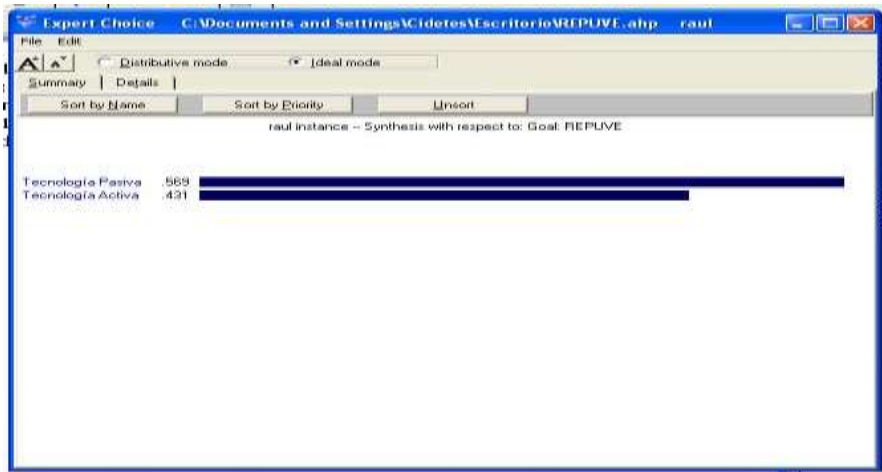


Figura 3.24.- Pantalla con los resultados de Raúl Jara.

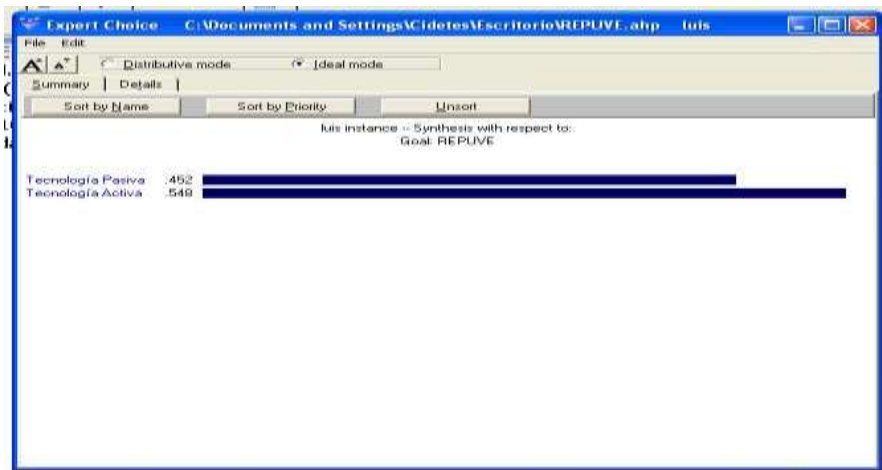


Figura 3.25.- Pantalla con los resultados de Luis Vera.

Investigación Etiquetas RFID para la Identificación Vehicular



Figura 3.26.- Pantalla con los resultados de Ramón Garza.

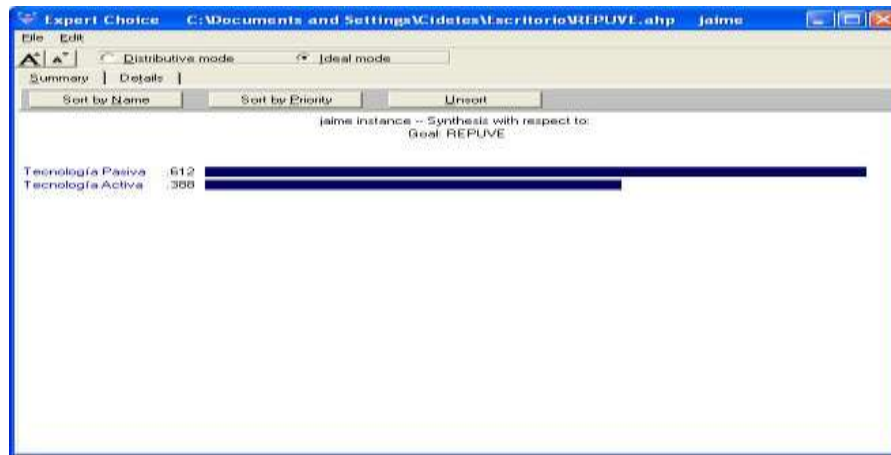


Figura 3.27.- Pantalla con los resultados de Jaime Plancarte.



Figura 3.28- Pantalla con los resultados de Abundio Rodríguez.

Investigación Etiquetas RFID para la Identificación Vehicular



Figura 3.29.- Pantalla con los resultados de Omar Soto.



Figura 3.30.- Pantalla con los resultados de Pedro Pérez.

RESULTADO FINAL COMBINADO:

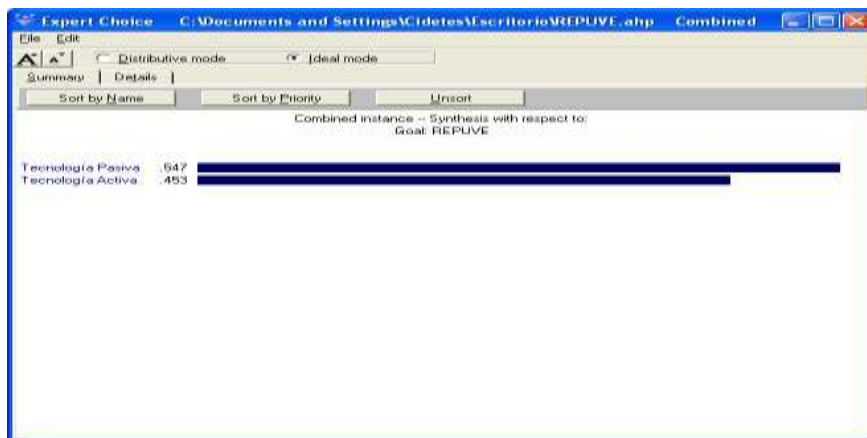


Figura 3.31.- Pantalla con los resultados combinados de los evaluadores.