

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**



## **Proyecto Fin De Carrera**

Tarificación Dinámica en un Sistema de Gestión de  
Tele-peaje

**Henar Gómez de Merodio Perea**

Septiembre 2013



# Tarificación Dinámica en un Sistema de Gestión de Tele-peaje

**AUTOR: Henar Gómez de Merodio Perea**

**TUTOR: Silvia González Rodríguez**

**PONENTE: Eduardo Boemo Scalvinoni**

**Digital System Lab**

**Dpto. Tecnología Electrónica y de Comunicaciones**

**Escuela Politécnica Superior**

**Universidad Autónoma de Madrid**

**Septiembre de 2013**



# Resumen

---

En el presente proyecto se presenta un sistema de tarificación dinámica que gestiona de manera automatizada los importes de un tele-peaje Free Flow. El tele-peaje Free Flow es una modalidad de peaje que permite el cobro a los vehículos que circulan por la vía sin necesidad de detenerse en un punto de pago localizado, especialmente apropiado para carreteras que soportan gran cantidad de tráfico.

Los métodos estáticos de tarificación que se han venido utilizando hasta el momento, responden a configuraciones predeterminadas pero no se adaptan a las condiciones del tráfico. La tarificación dinámica en estos sistemas optimiza los recursos del peaje asignando tarifas progresivamente en función del día y de la hora dependiendo del estado del tráfico en cada momento. Para ello, el módulo tarificador utilizará un algoritmo encargado de calcular los importes del peaje usando los datos que recibe de una serie de sensores situados a lo largo de la autopista, y teniendo en cuenta el tiempo que un conductor se ahorrará gracias al servicio que proporciona el peaje.

Las diferentes partes de este proyecto de ingeniería, donde ha sido definido y probado este sistema, serán estudiadas en esta memoria.

## Palabras Clave

---

Peaje electrónico, Algoritmo de Tarificación Dinámica, Tele-peaje, Back Office, Free Flow, Sistema Inteligente de Transporte, Gestor de Tarificación, Pórticos, Tarifas Dinámicas, Microwave Vehicle Detector MVD



# Abstract

---

The purpose of this project is to detail the implementation of a dynamic pricing system that manages fares of a Free Flow toll road. Free Flow tolls are a type of toll road which are based on an electronic toll collection where customers do not need to stop at a toll station to pay the toll price during the trip. This kind of tollways is particularly suitable in highways with lot of traffic.

The static pricing methods that are being used so far consist of predefined configurations and are not adapted to the traffic conditions. Dynamic pricing systems optimize the system resources assigning rates progressively by day and hour, and taking into account the traffic conditions at each moment. In order to implement this functionality, the dynamic module uses a dynamic algorithm that calculates fares depending on the data received from the detectors situated along the highway, focused on the time saved provided by using the tolling service.

The present project studies the different parts of this engineering project in which the rating system has been defined and tested.

## Key Words

---

Electronic Toll, No-Barriers Tolling, Free Flow, Rate Manager, Dynamic Pricing, Dynamic Rates Algorithm, Back Office, Intelligent Transportation System, Gantries, Microwave Vehicle Detector MVD



# Agradecimientos

---

En primer lugar quiero agradecerles a mis padres y mis hermanas por todo el ánimo que me han dado, sin el cual no habría llegado hasta aquí. A mi padre su *“tripas duras y mente reflexiva”* y su *“repetir, repetir, machacar, machacar, y olvidarse del último suspenso”*, porque gracias a su insistencia he sacado mis estudios adelante. A mi madre por todo su cariño y apoyo, y por celebrar cada aprobado como si fuese el mayor acontecimiento del mundo. A mis hermanas, Isabel y Rosario, por comprenderme y hacerme reír siempre con sus locuras, sin dejar que me rindiera y dejara la carrera en cada periodo de exámenes. Gracias por apoyarme día a día y no dejar de animarme durante todos estos años.

Gracias a mi ponente, Eduardo Boemo, por sus consejos y por guiarme durante este proyecto, y a mi tutora, Silvia González, por todas sus ideas y por apoyarme desde el primer momento que llegué a Indra. También a mis compañeros de trabajo que tanto me han ayudado en este último año, en especial a Marco, gracias por tu ayuda y tu paciencia con todas mis millones de dudas y preguntas.

Gracias a mis compañeros de Erasmus y a mis compañeros de la escuela por estos años de universidad compartiendo risas y agobios. En especial quiero agradecerse a Sandra por estar conmigo desde el principio y por explicarme todas esas cosas que era incapaz de entender, y a Ángel por acompañarme y ayudarme desde el primer día sin dudarlo nunca.

Gracias a mis amigos del ‘cole’, porque después de tantos años ahí siguen llenando mi vida de momentos inolvidables, desde las tardes de parque hasta los días interminables en el Pablo.

Y por supuesto mil gracias a Godoy, gracias por ayudarme en absolutamente todo, por apoyarme siempre, por animarme en los momentos de bajón. Muchísimas gracias por una infinita lista de razones.

¡Gracias a todos de todo corazón!



# Índice de Contenido

---

<b>Resumen .....</b>	<b>5</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de Contenido.....</b>	<b>11</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>13</b>
<b>Índice de Fórmulas .....</b>	<b>14</b>
<b>Índice de Ilustraciones .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>17</b>
1.1. Motivación .....	17
1.2. Objetivos .....	18
1.3. Distribución de la Memoria.....	21
<b>2. Estado del Arte.....</b>	<b>23</b>
<b>3. Tele-peaje Free Flow .....</b>	<b>26</b>
<b>4. Sistemas Involucrados .....</b>	<b>31</b>
4.1. Sistema Inteligente de Transporte (ITS).....	31
4.1.1. Identificación Automática de Vehículos (TAG).....	34
4.1.2. Sistema de registro de imágenes de vehículos .....	36
4.1.3. Sistema de clasificación y detección .....	38
4.1.4. Controlador Multicarril .....	38
4.1.5. Sensores de control de velocidad y volumen de tráfico .....	39
4.1.6. Paneles Informativos.....	40
4.2. Back Office.....	40
4.3. Websites.....	45
<b>5. Módulo de Tarificación Dinámica.....</b>	<b>46</b>
5.1.1. Módulo de Acceso al Sistema.....	50
5.1.2. Tarificación .....	52
5.1.3. Configuración del ATD.....	59
5.1.4. Informes .....	61
5.1.5. Monitorización .....	62

5.1.6.	Alarmas.....	64
5.1.8.	Interfaz con ITS.....	67
5.1.9.	Interfaz con Back Office .....	76
5.1.10.	Interfaz con Websites.....	80
<b>6.</b>	<b>Algoritmo de Tarifación Dinámica ATD .....</b>	<b>82</b>
6.1.	Background.....	82
6.2.	Framework .....	84
6.3.	Lógica del algoritmo .....	88
6.3.1.	Modo Normal .....	89
6.3.2.	Modo Obligatorio .....	92
6.3.3.	Flujo entre modos de funcionamiento.....	98
<b>7.</b>	<b>Plan de Pruebas .....</b>	<b>99</b>
7.1.	Test Unitarios .....	101
7.2.	Pruebas de Integración .....	101
7.3.	Pruebas On-Site.....	102
7.4.	Pruebas de Rendimiento.....	103
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>104</b>
	<b>Presupuesto .....</b>	<b>106</b>
	<b>Glosario.....</b>	<b>108</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>109</b>
	<b>Pliego de Condiciones.....</b>	<b>111</b>

# Índice de Tablas

---

Tabla 1. Casos de uso del Módulo de Acceso.....	52
Tabla 2. Ejemplo tarifas por segmento y pórtico .....	53
Tabla 3. Ejemplo aplicación según niveles de tarifas .....	54
Tabla 4. Casos de uso del Módulo de Tarificación .....	59
Tabla 5. Casos de uso del Módulo del Algoritmo de Tarificación Dinámica .....	61
Tabla 6. Casos de uso del Módulo del Informes .....	62
Tabla 7. Casos de uso del Módulo de Informes .....	64
Tabla 8. Casos de uso del Módulo de Alarmas.....	65
Tabla 9. Casos de uso del Módulo de gestión de Parámetros y Tareas .....	67
Tabla 10. Casos de uso del Módulo de la Interfaz con ITS .....	75
Tabla 11. Casos de uso del Módulo de Interfaz con el Back Office.....	80
Tabla 12. Casos de uso del Módulo de la Interfaz con los Websites .....	81
Tabla 13. Factores de entrada al algoritmo .....	89
Tabla 14. Ejemplo de factores de entrada .....	90
Tabla 15. Factor de demanda (Dos carriles gestionados .....	96
Tabla 16. Factor de demanda (Tres carriles gestionados) .....	97

# Índice de Fórmulas

---

Fórmula 1. Importe del peaje por pórtico.....	84
Fórmula 2. Cálculo de tarifa con configuración por dirección de segmento .....	91
Fórmula 3. Cálculo de tarifa con configuración por pórtico .....	91
Fórmula 4. Cálculo de aumento de tarifa para el modo Obligatorio .....	92
Fórmula 5. Cálculo de reducción de tarifa para el modo Obligatorio.....	93

# Índice de Ilustraciones

---

Ilustración 1. Distribución de la memoria .....	21
Ilustración 2. Ejemplo de tele-peaje Free Flow.....	28
Ilustración 3. Carril VAO .....	29
Ilustración 4. Ejemplo de división en segmentos.....	30
Ilustración 5. Sistemas involucrados .....	31
Ilustración 6. Plazas de peaje en George Washington Bridge.....	33
Ilustración 7. Peaje electrónico .....	33
Ilustración 8. Transpondedor o TAG y antena receptora.....	34
Ilustración 9. Identificación automática de vehículos.....	35
Ilustración 10. Antenas transmisoras y receptoras.....	35
Ilustración 11. Cámaras de video .....	37
Ilustración 12. Vista alzada de un punto de cobro.....	37

Ilustración 13. Escáneres láser .....	38
Ilustración 14. Microwave Vehicle Detector MVD.....	39
Ilustración 15. Diagrama de Back Office .....	42
Ilustración 16. Módulo de tarificación .....	47
Ilustración 17. Ejemplo de la pantalla de acceso .....	50
Ilustración 18. Esquema de la expresión <i>Cron</i> .....	66
Ilustración 19. Información de sensores MVD a MTD.....	68
Ilustración 20. Envío de video ITS a MTD .....	68
Ilustración 21. Envío de imágenes ITS a MTD .....	69
Ilustración 22. Flujo normal del procesamiento de una tarifa dinámica entre MTD e ITS .....	70
Ilustración 23. Procesamiento de tarifas dinámicas entre MTD e ITS con pérdida de comunicación .....	72
Ilustración 24. Ejemplo de proceso de envío de tarifas por defecto entre MTD e ITS (I) .....	73
Ilustración 25. Ejemplo de proceso de envío de tarifas por defecto entre MTD e ITS (II) .....	74
Ilustración 26. Ejemplo de proceso de envío de tarifas por defecto entre MTD e ITS (III) .....	74
Ilustración 27. Envío de descuentos desde el Back Office a MTD.....	77
Ilustración 28. Envío de tarifas desde el MTD al Back Office .....	78
Ilustración 29. Envío de tarifas modificadas al Back Office.....	79
Ilustración 30. Envío de tarifas en estado de Emergencia .....	79
Ilustración 31. Tarifas con respecto al tiempo ahorrado .....	90
Ilustración 32. Modo Obligatorio (Dos carriles gestionados).....	95
Ilustración 33. Modo Obligatorio (Tres carriles gestionados).....	96
Ilustración 34. Flujo de modos del ATD.....	98
Ilustración 35. TestLink.....	100



# 1. Introducción

---

## 1.1. Motivación

---

El atractivo innovador que reside en este proyecto es la implantación de un Módulo de Tarifación Dinámica (MTD) en una autopista de tele-peaje Free Flow, donde los conductores no tienen que detener su vehículo al pasar por el punto de cobro del peaje.

El funcionamiento de este peaje se basa en una serie de equipos que se encuentran en las carreteras, capaces de identificar los vehículos que pasan a través de ellos. En lugar de los tradicionales puestos de peaje con casetas y barreras, en el peaje Free Flow solo se encuentra en la vía un pórtico metálico parecido a los carteles informativos con mensajes variables. Sobre este pórtico se encuentran varios tipos de equipos electrónicos que permiten la identificación de los vehículos, y se encargan de pasar la información recolectada a los sistemas de gestión. Los equipos más comunes en estos peajes son los siguientes:

- Antenas que permiten identificar automáticamente a los vehículos equipados con un dispositivo llamado TAGs u OBUs (On Board Units) que se comunican mediante microondas con las antenas.
- Laser que permite identificar el volumen de los vehículos y sus características.
- Cámaras de imagen y video para mantener un registro gráfico de los vehículos y reconocer mediante un OCR sus matrículas.
- Controlador. Procesador encargado de llevar a cabo la trazabilidad de la información y su posterior envío al sistema de gestión.

Tras el paso de los vehículos por el pórtico, los sistemas podrán identificar el vehículo de forma unívoca, así como la ruta que está llevando a cabo y, en el caso de disponer de TAG, mandar el cobro directamente a la cuenta bancaria asociada a ese dispositivo.

La instrumentación que se encuentra tanto en el pórtico como en la autopista se denomina *Intelligent Transportation System* (ITS) o Sistema Inteligente de Transporte (SIT). Este sistema es capaz de detectar la velocidad y el volumen de los vehículos, y distinguir entre las distintas clases de los mismos (coches, motocicletas, camiones, etc.). Al contener detectores de congestión de la vía, es capaz de determinar el estado de la carretera en cada momento.

Estos detectores se sitúan también en la vía convencional alternativa al peaje (Carriles de Propósito General), permitiendo estudiar el comportamiento de un cliente ante diferentes situaciones.

Lo más novedoso de este proyecto es que usa la información que proviene de la carretera para adaptar el precio del peaje a las condiciones de la vía. La premisa fundamental en la que se basa el servicio es que la concesionaria del peaje se compromete a asegurar en todo momento una velocidad mínima de 80km/h.

Para ello se implantará un sistema de tarificación dinámica, donde un algoritmo será responsable de adaptar y publicar el coste del peaje cada cierto periodo de tiempo parametrizado en el sistema. De esta manera, si la velocidad media de la autopista desciende, el precio aumentará para desalentar a los conductores de coger la vía de pago y conseguir descongestionarla, y si por el contrario no se cumplen unos servicios mínimos, el precio descenderá para incentivar el uso del peaje.

## 1.2. Objetivos

---

El proyecto que se presenta a continuación en esta memoria es un proyecto de ingeniería software sobre el tratamiento de la información y gestión de un sistema de tele-peaje Free Flow.

Un sistema de tele-peaje está constituido por un conjunto de sistemas que interactúan entre ellos con el fin de obtener un correcto funcionamiento para la obtención de beneficios. Los principales sistemas intervinientes son:

- ITS (*Intelligent Transportation System*). Recibe este nombre debido a su constitución de sensores, pórticos, paneles y más elementos tecnológicos que lo componen. Se trata de un conjunto de dispositivos encargados de obtener la información de la carretera y de los vehículos que circulan por ella.
- Back Office. El tratamiento de la información de la carretera se lleva a cabo en un sistema de Back Office. En él se gestiona dicha información construyendo y armando los viajes de los vehículos, asociándoles una tarifa. Posteriormente el Back Office enviará estas transacciones a la autoridad correspondiente que ejecutará el cobro al usuario de la autopista.
- MTD (Módulo de Tarificación Dinámica). En sistemas convencionales este módulo es el encargado de establecer tarifas manuales o cargas múltiples de tarifas acordadas por parte de la cesionaria propietaria del peaje. Generalmente se puede encontrar como parte del Back Office. En este caso se trata de un sistema novedoso y complejo donde cobra especial importancia su funcionamiento, ya que interactúa con otros sistemas para dinamizar las tarifas, por lo que se trata como un sistema independiente. El encargado de la generación de las tarifas no es la concesión del peaje, sino que se generan automáticamente a partir de una serie de parámetros que se estudiarán a lo largo de este trabajo.

Para la administración de estos sistemas se desarrolla una interfaz gráfica (GUI) a partir de la cual la concesión pueda interactuar con todas las partes involucradas. A partir de ahora a la persona encargada de controlar y manipular estas interfaces gráficas se les denominará *Usuarios*.

El proyecto parte tras una definición de los sistemas, de los cuales se han establecido e identificado las características principales de cada uno de ellos. Estas características y necesidades se recogen en los requisitos acordados entre Cliente y Proveedor (Indra Sistemas).

El desarrollo de este proyecto de tarificación comienza tras el estudio de todos los componentes del peaje. Las fases principales de trabajo son las siguientes:

1. Toma de requisitos iniciales y elaboración de la oferta al cliente
2. Aceptación de la oferta y elección de los componentes del equipo
3. Definición del sistema
  - a. Determinación del alcance
  - b. Identificación del entorno tecnológico
  - c. Planificación del proyecto
  - d. Identificación de los usuarios participantes y finales
4. Establecimiento de Requisitos
  - a. Obtención de requisitos funcionales
  - b. Obtención de requisitos de rendimiento
5. Identificación de módulos y subsistemas
6. Diseño de alto nivel del sistema y definición de interfaces
7. Elaboración del modelo de procesos
8. Desarrollo software
  - a. Comportamiento dinámico
9. Especificación del plan de pruebas
  - a. Definición del alcance de las pruebas
  - b. Definición de las pruebas de aceptación e integración del sistema
  - c. Trazabilidad de requisitos del entorno de pruebas

Dentro de todas estas fases, las que se llevan a cabo en este proyecto son las siguientes:

1. Identificación de subsistemas y módulos
2. Especificación y análisis de casos de uso
3. Elaboración de modelos de datos, procesos y desarrollo
  - a. Algoritmo de tarificación dinámica
4. Especificación del plan de pruebas

Estos cuatro puntos son los que se desarrollan en este proyecto. En él se llevarán a cabo las distintas fases de elaboración dentro de cada uno de ellos para finalmente obtener, trabajando en paralelo con desarrolladores de otras fases y otros módulos, un sistema de tarificación dinámica de un sistema de gestión de tele-peaje de última generación.

## 1.3. Distribución de la Memoria

Esta memoria tiene como objetivo definir el módulo tarificador de un sistema de tele-peajes Free Flow. Primeramente, se ofrecerá una descripción todos los sistemas intervinientes, para conseguir de esta forma tener una visión global. Una vez puesto el sistema tarificador en perspectiva, la memoria se centra en el detalle del sistema tarificador.

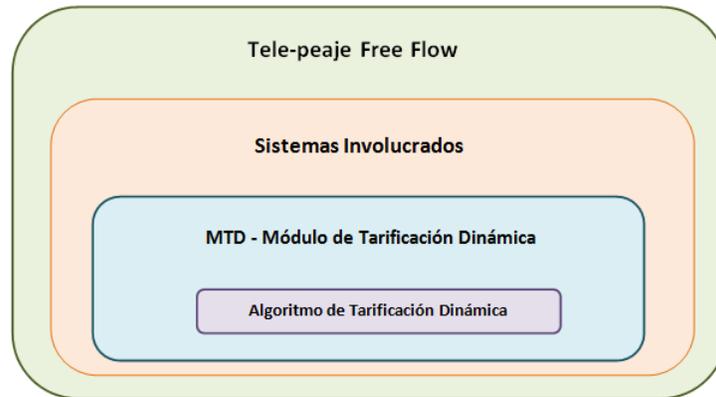


Ilustración 1. Distribución de la memoria

La memoria está dividida en los siguientes capítulos:

❖ **Estado del arte**

Esta sección permite determinar el estado actual de los sistemas de tele-peaje y cuáles son las tendencias actuales.

❖ **Sistemas de peaje Free Flow**

Los peajes están compuestos de varios sistemas con funciones diferenciadas que se comunican entre ellos para aportar un servicio óptimo y acorde con las expectativas tanto del cliente como de los colectores de las tasas del peaje. Los sistemas que intervienen en este tipo de tele-peaje Free Flow son:

- ✓ Sistema Inteligente de Transporte (ITS): Constituye el sistema de gestión de tráfico en carretera. Está formado por diversos dispositivos que recogen toda la información necesaria de la vía y se la comunican a los sistemas que tratan los datos, en este caso, el Back Office y el Módulo de Tarificación Dinámica.
- ✓ Back Office: Sistema donde se realizan las tareas destinadas a gestionar los viajes del peaje para prepararlos para el cobro.

- ✓ Módulo de Tarificación Dinámica (MTD): Este módulo constituye el sistema gestor de tarifas. Recibe información de la carretera y calcula las tarifas que más se adapten a cada situación utilizando para ello un Algoritmo de Tarificación Dinámica.
- ✓ Websites: Los sitios web serán la principal ventana entre la concesionaria de la carretera y los clientes finales, ya que podrán obtener fácilmente información de las tarifas publicadas a través de Internet.

### ❖ **Módulo de tarificación dinámica**

En esta sección se encuentra detallado el Módulo de Tarificación Dinámica (MTD) objetivo de esta memoria. Se estudian las diferentes fases del proyecto y el análisis de las actividades llevadas a cabo para el diseño de un sistema máster de tarifas que genera dinámicamente los precios de los peajes.

### ❖ **Algoritmo de tarificación dinámica**

El motor principal del módulo de tarificación es el Algoritmo de Tarificación Dinámica ATD que es el encargado de calcular las tarifas tomando como entradas los datos que le aporta MTD, obtenidos directamente de los sensores MVD (*Microwave Vehicle Device*) de la carretera.

### ❖ **Plan de pruebas**

Todo proyecto, antes de pasar a un entorno de producción, debe pasar por un periodo de pruebas donde se cuestionen todos los requisitos y especificaciones establecidas desde el comienzo del proyecto. Esta sección define las pruebas que han de desarrollarse para la aprobación del MTD antes de ponerlo en funcionamiento.

---

## 2. Estado del Arte

---

Cada vez más, la financiación de infraestructuras viarias se orienta hacia los sistemas de pago de tasas por parte de los conductores de las vías. El recaudo de las cantidades a pagar por los usuarios se realiza a partir de tecnologías cada vez más sofisticadas: Peajes Electrónicos. Estos peajes utilizan equipos electrónicos embarcados, denominados TAGs, que se relacionan mediante diversos estándares de comunicación (DSRC, GSM) con los centros de cobro, permitiendo localizar al vehículo en su ruta.

Los peajes van avanzando y encontrando más partidarios entre los responsables políticos como forma de afrontar los costes reales que genera el uso del transporte privado, las emisiones con su impacto medioambiental y la factura energética. Los peajes de hoy pretenden paliar estos conceptos así como la pérdida de tiempo por congestión incorporado a la tarifa. Así, en las grandes ciudades el peaje y las restricciones de paso son técnicas utilizadas para gestionar la demanda de movilidad. Las instituciones públicas instauran cada vez más peajes públicos, también denominados *peajes en sombra*, en los que es el Estado o la entidad pública correspondiente es quien se hace cargo del pago del peaje, normalmente basándose únicamente en la cantidad de vehículos que circulan por la carretera.

En Europa, el peaje electrónico en todas las autopistas de la Unión será pronto interoperable, como ya lo es en muchos esquemas nacionales (víaT español o Vía verde portugués), hasta constituirse en la forma única de pago regulado por directivas comunitarias. Cada usuario de la red europea de autopistas tendrá un contrato con un proveedor de servicios de pago, cuya tecnología haya sido homologada y que a su vez tiene contratos con los operadores concesionarios de infraestructura, que facturan a ese proveedor por el consumo que sus clientes han realizado en su autopista.

Los proyectos de autopistas urbanas son una solución innovadora para resolver de forma íntegra el problema que suponía la inexistencia de una red viaria apropiada en ciudades con millones de vehículos. Aspectos como la gestión de proyectos, la metodología, la capacidad de integración o el proceso de pruebas constituyen las herramientas clave para que empresas como **Indra** participen en la implantación de sistemas Free Flow.

La historia de los sistemas de tele-peaje arranca en 1997 con la apertura de la autopista 407ETR de Toronto en Canadá, al que le siguieron ciudades como Melbourne en Australia y a continuación multitud de ciudades alrededor del mundo.

Sin embargo, el sistema de gestión de este proyecto es pionero por la implantación de un sistema de tarificación dinámica que adapta totalmente los precios del peaje a las condiciones de la carretera. Esto se consigue a través de sistemas inteligentes de control que gestionan la demanda de tráfico de forma flexible y eficiente, ya que permiten efectuar una operación predictiva de la autopista y programar la demanda en tiempo real.

Los sistemas Free Flow de **Indra** cuentan con una tecnología puntera y se encuentran en pocos países del mundo, tales como Estados Unidos, Canadá, Australia, Israel o Chile. Controlan de modo automático e inteligente el acceso a la autopista y la aplicación de tarifas. La detección de vehículos a una velocidad de hasta un máximo de 250 km/h, permite gestionar más de 2000 vehículos por carril en una hora, un flujo de vehículos muy superior al de los sistemas tradicionales.

Grandes núcleos urbanos han experimentado en las últimas décadas un importante crecimiento demográfico e industrial. Como consecuencia de esto, el aumento de vehículos en estas zonas también ha sido considerable, alcanzando altos niveles de congestión hasta ahora inexistentes.

Hasta el momento, la concesión de vías urbanas genera importantes beneficios como consecuencia de la disminución de los tiempos de viaje, la reducción de emisiones contaminantes, la descongestión vehicular y el desarrollo de nuevas áreas urbanas mejor comunicadas.

La solución de los sistemas de gestión de tele-peajes Free Flow está diseñada para evitar posibles fraudes y lograr una mayor fiabilidad y control. A través de un conjunto de pórticos, situados en las vías de entrada de la autopista, se identifica al vehículo y al cliente de forma muy fiable.

Tecnologías de alta complejidad y extremada sensibilidad permiten reconocer e identificar a los clientes, así como definir el estado del tráfico en cada momento, que conduce a un alto grado de aceptación de los usuarios al utilizar una vía segura, cómoda y rápida.

## 3. Tele-peaje Free Flow

---

El aumento de la congestión del tráfico en las principales áreas metropolitanas cuesta grandes cantidades de dinero cada año, una pérdida de productividad y de combustible, y un aumento de la contaminación del aire y tiempo desperdiciado en la carretera. La ampliación de carreteras es cada vez más difícil debido a factores tales como el coste de construcción y las preocupaciones medioambientales. Como resultado, se buscan soluciones para mejorar el flujo de tráfico en las instalaciones existentes.

Los tele-peajes electrónicos Free Flow son el avance de una idea de peaje que apuesta por la comodidad y el avance tecnológico. El concepto adquirido de los peajes comúnmente conocidos, consiste en una carretera donde hay que abonar un importe al pasar por una plaza o cabina, donde un empleado del peaje (peajista) o, en algunos casos, un sistema automatizado, cobra el precio establecido de antemano por la concesionaria de la autopista.

Los Free Flow aportan un sistema donde se utilizan múltiples estrategias de operación y se busca aportar comodidad al conductor. En este tipo de sistemas no es necesario que el vehículo se detenga frente a una barrera para recoger ningún ticket ni para pagar ningún importe.

En este tipo de autopistas se sitúa una serie de dispositivos que llevan el control de los vehículos que circulan por ellas. Estos dispositivos se encargan de localizarlos y clasificarlos. Con la información que aportan se puede identificar un vehículo y contrastarlo con una base de datos para asociar el viaje al propietario, a quien se le cobrará por el uso de la vía de manera automática, o pagará a posteriori vía web.

Actualmente en España existe un sistema semejante que es el conocido como ViaT, que solo se puede usar si se tiene instalado en el vehículo un aparato que permite al sistema una

identificación automática. Aun así, es necesario reducir la velocidad para que el reconocimiento sea satisfactorio.

Para poder estudiar el tratamiento de la información y el comportamiento de los sistemas software, primero se detallarán los conceptos básicos de la autopista de peaje Free Flow donde se instalará el sistema de gestión presente en este proyecto, y sus componentes.

#### ❖ **Información de la carretera**

Este proyecto se desarrolla para una carretera de 27 kilómetros de longitud. Dispondrá de al menos cuatro carriles para cada sentido de la circulación, soportando hasta 300.000 viajes diarios.

#### ❖ **Carriles**

El objetivo de este proyecto es que el tráfico fluya sin detenciones ni interrupciones. La carretera consta de varios carriles en ambas direcciones que tendrán distintas funciones. Hay dos tipos de carriles, carriles abiertos de propósito general y otros correspondientes carriles gestionados de pago.

- **Carriles de propósito general:** Estos carriles son gratuitos y van paralelos al peaje. Son vías libres sin peaje.
- **Carriles administrados o gestionados:** Este tipo de carriles contarán con un sistema de tele-peaje electrónico Free Flow (sin barreras). La idea es conseguir tener una autopista dentro de otra autopista existente, es decir, destinar una serie de vías al peaje para ofrecer un comportamiento mucho mejor que los carriles adyacentes, utilizando el estado de la carretera y el precio como herramientas para conseguirlo. El conjunto de estos carriles dentro de la autopista está separada físicamente de los carriles de uso general. Combinan una variedad de herramientas y técnicas de gestión para mejorar la eficiencia de la autopista y cumplir los objetivos fijados por la concesionaria que ofrece unos servicios predefinidos.

En la siguiente imagen se muestra claramente los conceptos vistos hasta el momento:

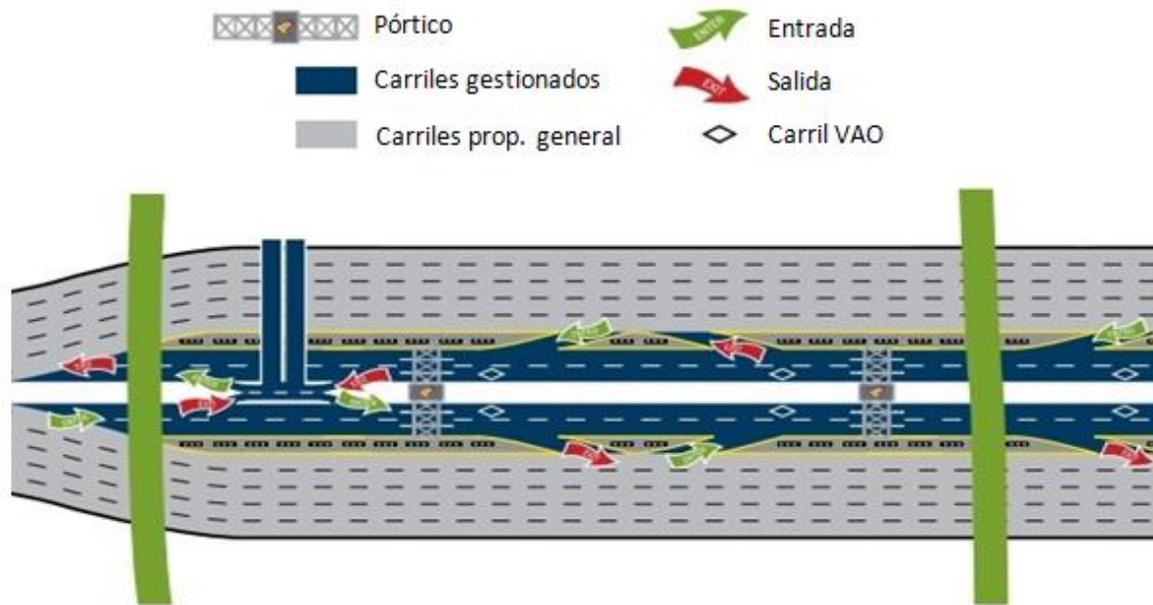


Ilustración 2. Ejemplo de tele-peaje Free Flow

#### ❖ Técnicas y objetivo

El funcionamiento de la instalación del peaje se gestiona mediante una combinación de herramientas y técnicas para lograr continuamente una conducción óptima, como velocidades de flujo libre. Las principales estrategias de gestión se pueden clasificar en tres grupos: los precios, la identificación del vehículo y control de acceso.

El principal servicio que ofrecen los carriles gestionados en este proyecto es el ahorro de tiempo. Esta estrategia se administrará mediante la generación de tarifas dinámicas a partir de la velocidad media y el volumen de tráfico en las autopistas, garantizando una velocidad mínima superior a 80 kilómetros por hora.

#### ❖ Clasificación de vehículos

Una de las técnicas fundamentales de este tipo de peajes, es la identificación de las diferentes categorías de los vehículos. Esta clasificación conllevará un aumento o disminución en el precio ya que no conlleva el mismo desgaste y ocupación de la vía un vehículo pesado, como puede ser un camión, que uno ligero y pequeño, como un utilitario o una motocicleta.

No solo se tipifican los vehículos por volumen y peso, sino que también se identifican por el uso que se les da. En este caso cobra especial importancia los vehículos VAO (Vehículo de Alta Ocupación) que tendrán un precio ventajoso y un carril destinado únicamente a ellos marcado por un rombo.



Ilustración 3. Carril VAO

Otras técnicas usadas dependiendo de la clasificación es la aplicación de descuentos o sobrecargos a determinados automóviles dependiendo del momento del día y de la semana, siempre con la finalidad de optimizar el tráfico y la circulación. Destinar un carril exclusivo para camiones o autobuses puede significar muchos beneficios en algunas situaciones. El objetivo de la separación de tráfico de camiones y el tráfico de pasajeros es mejorar el flujo de la circulación y proporcionar un mayor nivel de seguridad mediante la reducción de los posibles conflictos entre camiones grandes y otros vehículos.

#### ❖ División por Segmentos y Puntos de cobro

La circulación en esta autopista se controla en ciertos puntos situados en la carretera, donde se lleva a cabo la identificación del cliente para cobrarle el importe del peaje en el mismo punto de control o bien más adelante por otros medios. Los puntos de cobro de un sistema de peaje convencional son las plazas donde se encuentra la barrera que da acceso a la vía privada, o bien a la salida de esta. En el caso de los tele-peajes Free Flow, los puntos de cobro son aquellos en donde se identifica al usuario. La identificación de los vehículos se lleva a cabo a partir de una serie de dispositivos colocados horizontalmente en la vía, en lo que se denomina *pórticos*.

Los pórticos se sitúan en las incorporaciones al peaje, de tal manera que se encuentren entre una entrada y la primera salida hacia los carriles de propósito general. No existirá ninguna entrada a los carriles administrados sin su pórtico asociado correspondiente. Gráficamente se pueden distinguir estas características en la **Ilustración 2**.

A lo largo de la carretera y por motivos de gestión, se llevará a cabo una nueva división por los denominados *segmentos*. Estos segmentos se definen como tramos de carretera, en una determinada zona geográfica, que incluye ambos sentidos de circulación y que contendrá tantos pórticos asociados como entradas al segmento existan en la autopista.

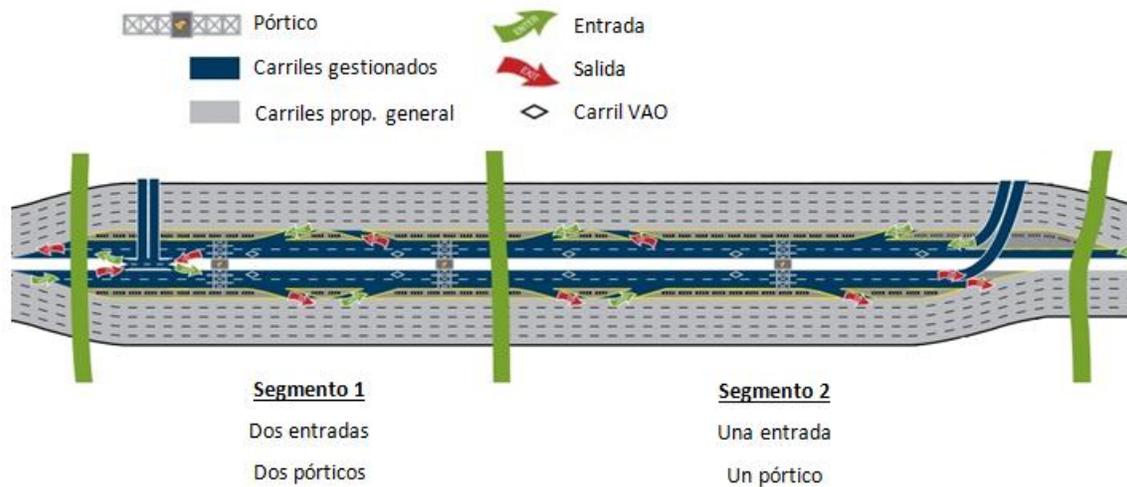


Ilustración 4. Ejemplo de división en segmentos

#### ❖ Dispositivos de la vía

El tele-peaje Free Flow se basa en la identificación de los vehículos para su posterior cobro del servicio de circulación. Esta identificación se lleva a cabo gracias a una serie de dispositivos que se encuentran en los pórticos y permiten reconocer tipos de vehículos y matrículas. En los pórticos también se encuentran antenas que permiten identificar automáticamente los vehículos que estén equipados con la tecnología necesaria.

Dada la importancia de estos instrumentos, este punto se estudiará en una sección aparte donde se definen las características de estos dispositivos detenidamente.

## 4. Sistemas Involucrados

Antes de dar paso al Módulo de Tarificación Dinámica, se presentará en este apartado los sistemas que participan en la gestión del peaje. Como ya se mencionó con anterioridad, los sistemas que intervendrán con MTD son el Back Office y el de Sistema Inteligente de Transporte o ITS.

Para cumplir con los requerimientos funcionales de un programa de peaje se necesita la combinación adecuada de procedimientos tecnológicos y operativos. Además, los dispositivos que componen el peaje deben garantizar una futura adaptación de una sola instalación a varias instalaciones, y ser capaz de evolucionar junto con los cambios en la tecnología.

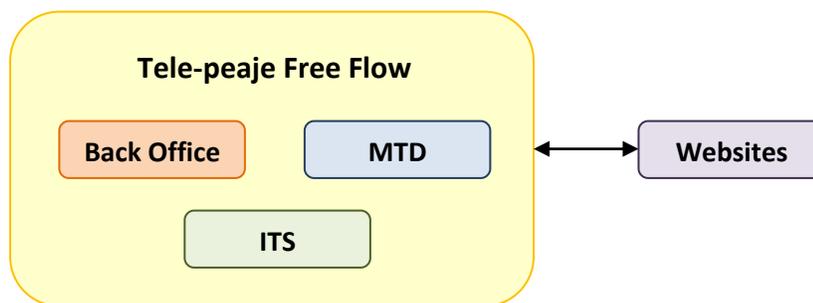


Ilustración 5. Sistemas involucrados

### 4.1. Sistema Inteligente de Transporte (ITS)

Esta sección está enfocada a introducir la tecnología requerida en un sistema de peaje, tanto peajes manuales como tele-peajes Free Flow. Estos sistemas tienen como objetivo la identificación de los clientes para la posterior recaudación del peaje correspondiente según las condiciones que lo envuelvan.

Los puntos de cobro están centrados en los siguientes componentes principales:

- **Tarifas de peaje**

Las tarifas del peaje se deben determinar y ser transmitidas claramente al usuario con la antelación suficiente para que el cliente pueda elegir entre circular por los carriles gestionados, o por los carriles de propósito general. Tradicionalmente, los peajes son importes fijos basados en las características del vehículo, tales como sus dimensiones o número de ejes. Los peajes se pueden evaluar por puntos en el trayecto de la vía o en base a la distancia recorrida, pero los avances en el seguimiento de las condiciones de tráfico permiten ahora las tarifas de peaje variables en función del nivel de congestión de la carretera.

- **Recolección de peaje**

El cobro del peaje puede implicar un pago directo en las plazas de peaje de las vías donde pueden intervenir un peajista quien determina la cantidad a abonar por cada tipo de vehículo en función de sus características o de clasificación, o una transferencia de datos a través de la tecnología electrónica. De cualquier manera, es necesario asegurar que se cobra la cantidad correcta, y que no existen fraudes por parte del cliente o por parte del colector.

- **Cumplimiento contra violaciones del servicio**

Aunque se presupone que la mayoría de los usuarios son honestos, hay que tener en cuenta los casos en los que se trata de eludir el pago. Como cualquier negocio, las empresas de cobro de peaje deben identificar, cuantificar y mitigar las pérdidas potenciales frente a estos casos. El objetivo referente a este ámbito es garantizar que exista un nivel aceptable de cumplimiento, y que las normas aplicadas sean justas y coherentes.

- **Gestión y Contabilidad**

Todas las partes que componen un peaje, como la auditoría, mantenimiento, seguridad y servicio al cliente, etc., deben ser gestionadas junto a una contabilidad completa de todos los ingresos y los costes asociados con cada operación.

- **Interoperabilidad**

Como los clientes utilizan las diferentes instalaciones de peaje, se debe esperar que todos los mecanismos electrónicos de cobro de peajes sean totalmente compatibles en todas estas instalaciones de peaje.

Los carriles gestionados convencionales con cabina y barrera, pueden procesar aproximadamente 400 vehículos por hora, en comparación con un carril gestionado de autopista Free Flow con capacidad de cerca de 2.000 vehículos por hora. Para llegar a estos niveles de servicio, los peajes convencionales requieren la construcción de grandes estaciones de peaje, como se muestra en la siguiente imagen. Aun así, el tráfico junto con la necesidad de que cada vehículo se detenga ante los puntos de cobro, todavía provoca una congestión significativa en muchos de estos puestos de peaje.



Ilustración 6. Plazas de peaje en George Washington Bridge

Un intento para mejorar la productividad y reducir costes fue la instalación de máquinas de pago automático que aceptan dinero en efectivo sin necesidad de supervisión de personal. Este tipo de vías soportan 600 vehículos por hora en peajes de valor bajo, pero existen igualmente barreras para asegurar el pago que sigue suponiendo un retraso en la circulación.

En cambio, los peajes electrónicos Free Flow están formados por varios elementos que permiten la identificación de los vehículos automáticamente y sin barreras. A partir de la información recolectada por los puntos de cobro de la carretera será posible el análisis y asociación de viajes de los clientes que circulan por ella.

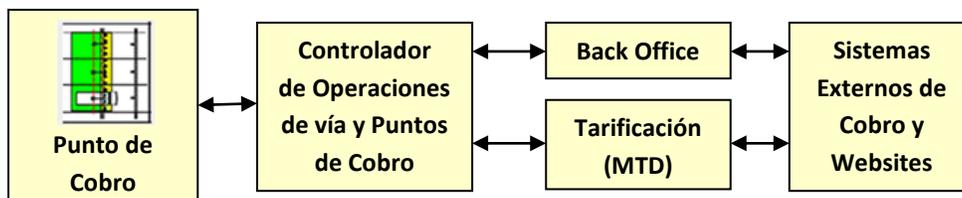


Ilustración 7. Peaje electrónico

A continuación se estudiarán los principales dispositivos que forman este tipo de sistema de puntos de cobro.

### 4.1.1. Identificación Automática de Vehículos (TAG)

---

Los dispositivos de reconocimiento automático pueden identificar con precisión un vehículo específico durante una circulación normal. Estos dispositivos se denominan TAGs u OBU (*On Board Unit*).

Cada TAG estará asociado previamente a una cuenta de cliente a través de la cual el sistema podrá distinguirlo y enviarle el cobro correspondiente. Estos elementos están incorporados en la parte frontal del vehículo de tal manera que facilite su identificación a las antenas receptoras situadas en los pórticos de las vías.



Ilustración 8. Transpondedor o TAG y antena receptora

Los TAGs se detectan gracias a los lectores situados en los pórticos que identifican a los vehículos en ciertos puntos de la carretera. Los TAGs son unidades de identificación de radiofrecuencia RFID (Radio Frequency Identification Device) que transmiten señales de radio. Estos transpondedores (TAGs) operan en una banda de 900Mhz (en USA) utilizando protocolos de comunicaciones de corto alcance DSRC (Dedicated Short Range Communications).

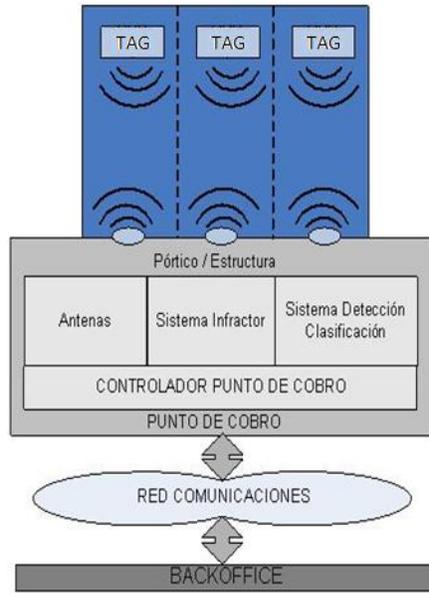


Ilustración 9. Identificación automática de vehículos

En América del sur y Europa este protocolo opera en la banda de 5.8GHz. El estándar DSRC corresponde a comunicaciones de corto alcance unidireccionales o bidireccionales de comunicación inalámbrica diseñado específicamente para el uso en automóviles y su correspondiente conjunto de protocolos y normas.

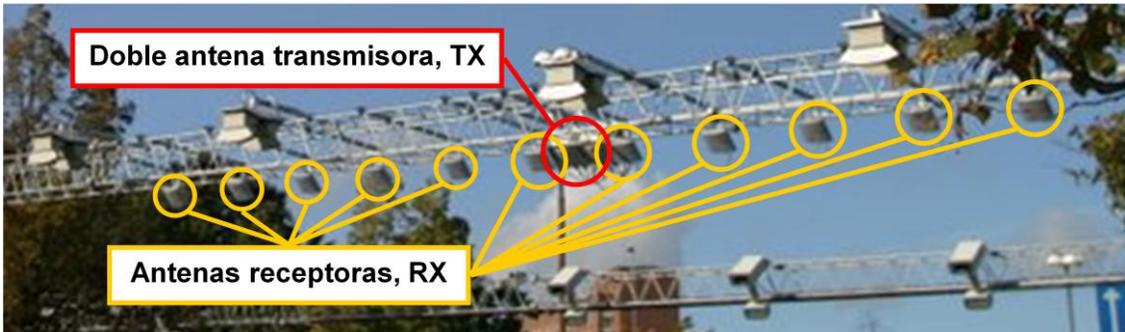


Ilustración 10. Antenas transmisoras y receptoras

El despliegue de distintos protocolos de DSRC para cobro electrónico de peajes tiene un impacto significativo sobre la interoperabilidad. Por ejemplo en Estados Unidos se llegan a usar hasta cinco protocolos de DSRC que, aunque se encuentren geográficamente separados, constituye una limitación importante.

En consecuencia, el departamento de transporte de Estados Unidos (DOT) encargó a un consorcio de los principales fabricantes de transpondedores el desarrollo de un estándar nacional DSRC. El dispositivo está construido alrededor de una frecuencia de radio de 5,9 GHz y tiene requisitos específicos de DSRC para aplicaciones de transporte.

En Europa la normativa vigente para estos dispositivos es la Directiva 2004/52/CE relativa a la interoperabilidad de los sistemas de tele-peaje de las carreteras de la Comunidad sobre sistemas de comunicaciones especializadas de corto alcance DSRC de 5,8 GHz.

En los transpondedores RFID se almacena información básica del vehículo, como el identificador de cliente, tipo de vehículo, etc.

Las antenas emitirán señales de radio para comunicarse con los TAGs y así identificar la transacción de los vehículos. El sistema de identificación contiene doble antena de transmisión y múltiples antenas receptoras. El protocolo de transacción y el proceso de localización del TAG se llevan a cabo en la misma ventana de tiempo, para asegurar que el TAG que se está localizando es el mismo que se está identificando.

Además, para alcanzar un nivel alto de posicionamiento el sistema constará de un control de la dispersión: Integral Amplitude Distribution (IAD), basado en las amplitudes recibidas en las antenas receptoras. La velocidad máxima de lectura de TAG es de 250 km/h con una tasa de reconocimiento del 99%.

#### 4.1.2. Sistema de registro de imágenes de vehículos

---

Los vehículos que no dispongan de TAG son igualmente identificados por los pórticos, aunque de manera menos directa. Tanto si se dispone de dispositivo de a bordo como si no, ITS siempre registrará imágenes de todos los vehículos que circulen a través de cada pórtico.

Las imágenes recogidas servirán también para el sistema OCR (Optical Character Recognition) de reconocimiento automático de matrículas.



Ilustración 11. Cámaras de video

El sistema de cámaras es el responsable de la captura frontal y trasera de imágenes de cada vehículo. Las cámaras constan de un iluminador en luz infrarroja para asegurar un nivel suficientemente alto de visibilidad sin distraer al conductor cuando pase bajo el pórtico.

Los pórticos estarán formados como mínimo de dos filas de dispositivos, ya que primero se detectarán los dispositivos de TAG, y a continuación se desplegará el proceso de imágenes.

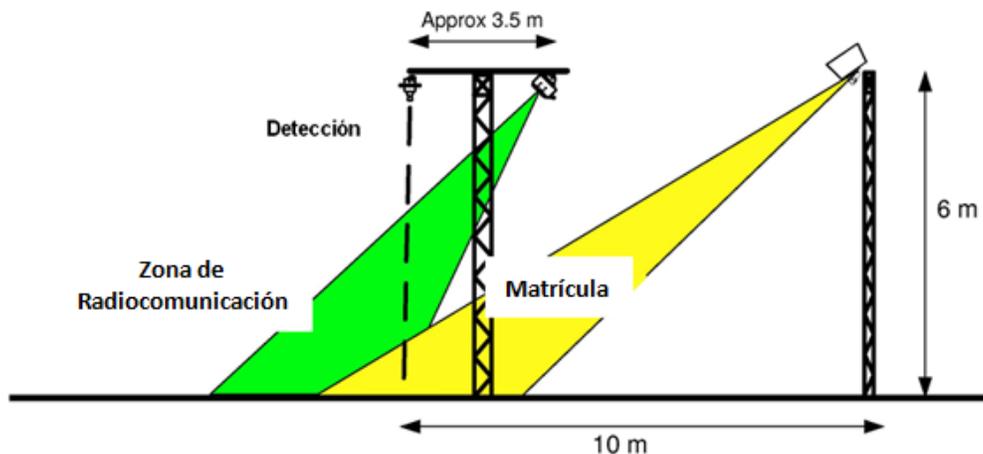


Ilustración 12. Vista alzada de un punto de cobro

La captura de imágenes es un requisito indispensable debido a su peso legal, ya que son la prueba de que los vehículos circularon por la carretera, y son evidencias inequívocas e irrefutables ante posibles errores.

La máquina donde está instalado el OCR en cada uno de estas unidades (cámaras), comprime la imagen en formato JPEG (200Kb/imagen) y asigna un certificado de seguridad (firma digital) antes de enviarla al controlador de vía y posteriormente al Back Office.

La matrícula es visible en, al menos, el 95% de las imágenes de vehículos con la matrícula correctamente montada garantizando una tasa de lectura de un 80%. La tasa de lectura falsa de matrículas es de un 0.5% a una velocidad máxima de captura de imagen de matrícula de 250 km/h.

### 4.1.3. Sistema de clasificación y detección

---

La clasificación del vehículo a efectos del peaje se realiza mediante escáneres láser, que hace un escaneado volumétrico del vehículo, mide su altura y cuenta los ejes del mismo.



Ilustración 13. Escáneres láser

Este sistema es el responsable de la detección, posicionamiento y clasificación del vehículo. Consiste en dos escáneres láser montados en el centro de cada carril, situados de tal forma que la zona de detección se solape con el área dónde se hace la transacción electrónica con el TAG, y así obtener la máxima fiabilidad de correlación entre el sistema de clasificación y el de comunicaciones.

La fiabilidad de clasificación tarifaria (por tipo de vehículo) es de un 95%, con una fiabilidad de clasificación Ligeros/Pesados de un 98%.

### 4.1.4. Controlador Multicarril

---

La información recolectada mediante los dispositivos anteriores tiene que ser agrupada por cada viaje y enviada al sistema de Back Office. Este dispositivo consiste en un controlador multicarril

responsable de asignar a cada transacción sus imágenes, matrícula, clasificación y TAG si fuera el caso, asociándolo al momento en el que el vehículo atraviesa el pórtico. A todo vehículo se le asocia una imagen mediante un ID único. El TAG detectado y los datos recibidos en ese instante se relacionan igualmente con ese ID.

#### 4.1.5. Sensores de control de velocidad y volumen de tráfico

---

El módulo de tarificación es el responsable de calcular las tarifas según las condiciones de tráfico de la vía. Para ello este sistema se vale de la información recibida de los sensores situados a lo largo de la carretera. Estos sensores son los denominados MVD (*Microwave Vehicle Detector*).

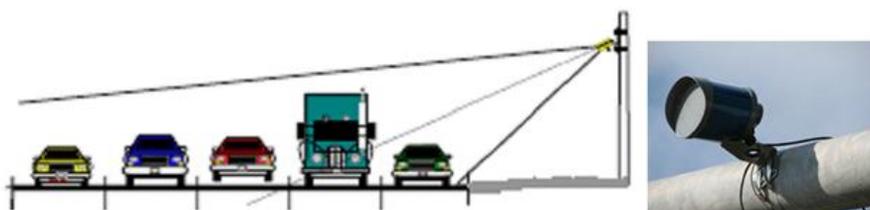


Ilustración 14. Microwave Vehicle Detector MVD

Los MVD son sensores basados en radares que proporcionan el volumen de tráfico de la vía, la media de velocidad y de ocupación de hasta ocho carriles simultáneamente, independientemente del sentido de las transacciones. Los detectores están comunicados mediante fibra óptica directamente con un modem que enviará la información al módulo de tarificación cada minuto para tratar los datos.

La potencia de transmisión de estos dispositivos no será nunca superior a 10mW. El campo de cobertura de los sensores abarcará un área definida por un haz en forma de óvalo y su gama de detección máxima será de 45 grados de elevación por 15 grados de anchura, en un rango de entre 10 y 60 metros.

La precisión en la detección, tanto en volumen, ocupación o velocidad, será de al menos 95%.

## 4.1.6. Paneles Informativos

---

El carácter dinámico del módulo de tarificación es una ventaja para el rendimiento y funcionamiento de un tele-peaje Free-Flow, pero a su vez conlleva un inconveniente asociado ya que no se puede cobrar a un cliente un importe sin informarle primero del coste del servicio.

Puesto que las tarifas pueden variar cada cinco minutos (según la normativa de peajes), la única manera de comunicar el coste del peaje a los conductores, es mediante paneles informativos en la misma carretera que contengan información básica de importes y descuentos.

Los paneles son dispositivos que estarán localizados en la carretera de tal manera que a un cliente disponga de tiempo de escoger su camino y tenga la opción de continuar circulando por la carretera de propósito general o por la de peaje. Cada panel está asociado a un pórtico de forma que cada pórtico puede tener asignados uno o más paneles.

Los paneles estarán en continuo contacto con el módulo de tarificación para que este le envíe las tarifas que corresponda mostrar en cada momento dependiendo del pórtico al que pertenezcan. MTD comunicará nuevas tarifas a los paneles cada vez que la tarifa cambie de importe con respecto a la anterior. Mientras el importe continúe constante, un panel mostrará el último valor recibido sin necesidad de que MTD confirme nuevas tarifas.

Los paneles también se comunicarán con el módulo de tarificación, enviándole la confirmación de la recepción y la publicación de las tarifas recibidas, e informándole periódicamente del estado en el que se encuentran. La comunicación de los estados de los paneles permite a MTD tener constancia de que todas las tarifas se muestran correctamente y de que no hay ningún panel caído o en mal estado.

## 4.2. Back Office

---

Una vez identificados los vehículos correctamente y tras obtener todos los datos de la carretera, estos son enviados a un sistema de Back Office fuera de pista. Su tarea es la de gestionar las transacciones provenientes de los pórticos, revisando y completando la información que sea necesaria para que el mayor número de ellas sean cobrables. Asimismo es el sistema encargado de

la monitorización y configuración de los puntos de cobro de la autopista. Por tanto, se divide en 2 áreas funcionales:

- Sistema de Tratamiento de Transacciones: Es el conjunto de módulos que se encarga de forma directa del tratamiento de las transacciones que son recibidas del pórtico.
- Sistema de Gestión y Configuración: Son los módulos adicionales que ayudan a la operación, configuración y auditoría del sistema.

En el Back Office se pueden encontrar diversas funcionalidades sobre la reconciliación de los datos recibidos de la autopista donde se encuentran los equipos. Las transacciones recibidas incluyen fecha, hora, identificador de pórtico, así como la información de matrícula, categoría y TAG (si existiera).

También es el responsable de recibir las imágenes asociadas a las transacciones de los puntos de cobro, y realiza las verificaciones y validaciones necesarias para que las transacciones puedan ser identificadas y cobradas.

Las imágenes recibidas desde el controlador de vía se guardarán en el servidor del Back Office. Debido a su tamaño, las imágenes no se almacenarán en base de datos, sino en el sistema de archivos del servidor. Cada imagen se asociará a su tránsito mediante la información registrada en el nombre del fichero.

La salida del sistema será de: una transacción por cada paso de un vehículo bajo un pórtico recibido desde un punto de cobro concreto, y un número de viajes que dependerá de los trayectos de los vehículos dentro de la autopista.

Una característica que constituye una de las grandes diferencias entre el peaje convencional y el Free Flow, es que la relación del cliente con el peaje en un sistema de barreras en general acaba una vez efectuado el pago en cabina, y la empresa concesionaria del peaje no tiene conocimiento alguno sobre sus clientes. En cambio, en este tipo de tele-peajes se cuenta con los datos del cliente y así se puede ofrecer servicios personalizados como descuentos y otras ventajas. Todas estas funciones están controladas por el Back Office.

El Back Office recibe las tarifas del modo de tarificación dinámica. Los vehículos que circulan por los carriles gestionados pueden pasar por uno o por varios pórticos consecutivos. El sistema de

tarificación proporcionará al Back Office tarifas por cada pórtico, de tal manera que él es el encargado de calcular el precio de cada viaje según el trayecto que haya tomado cada cliente.

Una vez clasificado el vehículo, el sistema determina su ruta a lo largo de la autopista y calcula el importe del peaje, el cual se imputa entonces a la cuenta bancaria que el conductor tiene asociada a su TAG. En caso de que un vehículo no lleve un TAG válido, el pórtico captura imágenes de sus matrículas y mediante un sistema OCR de reconocimiento óptico de caracteres procede a su lectura y registro. El propietario del vehículo tiene la posibilidad de realizar un prepago o pospago dentro de un plazo determinado, utilizando para ello diversos medios de pago.

De cualquier manera, es necesario asegurar que se cobra la cantidad correcta, y que no existen fraudes por parte del cliente o por parte del colector. Las mayores dificultades de cobro no se encuentran en la captura de los tránsitos, sino en la persecución de los infractores. La gestión de cobros precisa una legislación adecuada de *enforcement* en el país, que ha de extenderse también a los vehículos extranjeros. En la Unión Europea, por ejemplo, se está trabajando en esta dirección con directivas como el SET (Sistema Europeo de Tele-peaje).

El Back Office está formado por distintos módulos, cada uno con unos procesos y unas tareas específicas que podrán ser controlados por medio de una interfaz gráfica. A continuación se detallarán cada uno de estos módulos.

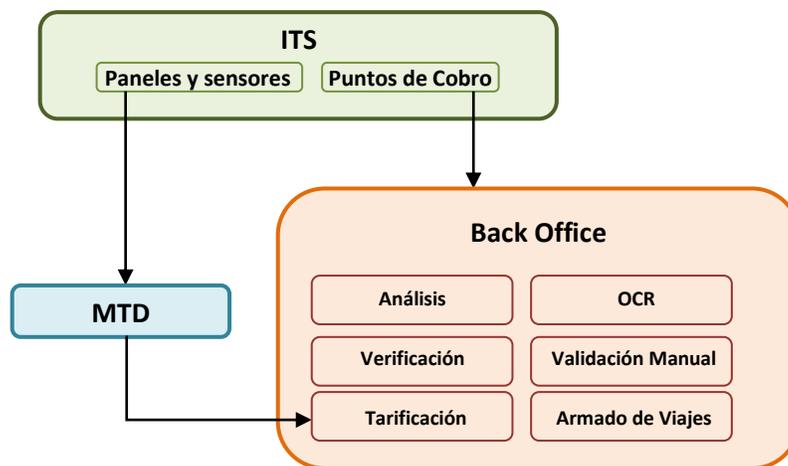


Ilustración 15. Diagrama de Back Office

- **Análisis**

El módulo de Análisis es el responsable de la comprobación de la validez de los datos de la transacción, y de si se han recibido todas las imágenes asociadas a ese tránsito. Si algún dato esencial no es válido, se marcará la transacción como pérdida técnica, ya que esa transacción no puede ser procesada de forma completa. Si el tránsito tiene imágenes, las envía al proceso de OCR automático.

- **Validador de Imágenes**

El módulo de Validador de Imágenes u OCR es el encargado del proceso de reconocimiento de matrícula, tras el cual se pasará la información al siguiente proceso del Back Office para poder continuar con el procesado de la transacción. Dicha información consiste en:

- Matrícula reconocida
- Fiabilidad del reconocimiento

- **Verificación**

El módulo de Verificación es responsable del proceso que se encarga de comprobar si las transacciones deben ser enviadas o no a validación manual.

- La salida del proceso será de validación manual si no se cumplen unos niveles mínimos de seguridad que garantizan la correcta identificación del vehículo.
- En transacciones de TAG o con la información completa (matrícula reconocida correctamente y categoría detectada correctamente), no es necesario enviarlas a validación manual, con lo que continúa en el procesado automático.

- **Validación manual**

La Validación Manual se encarga del proceso de revisión de imágenes de transacciones no identificadas automáticamente.

- **Tarificación**

El módulo de Tarificación es el responsable de asignar a los tránsitos el importe correspondiente que el Back Office recibe del sistema de tarificación dinámica (MTD). Este

importe se asigna según la tarifa vigente en el momento de la transacción y los datos de la misma:

- Hora de paso
- Categoría del vehículo
- Pórtico de paso

Una vez procesadas y tarifadas, las transacciones son enviadas a *Armado de Viajes*.

### ▪ **Armado de Viajes**

El módulo de armado se encarga de agrupar las transacciones en viajes. Además, detecta las posibles transacciones duplicadas basándose en una base de datos de clientes que asocia TAG con matrícula.

Un viaje está formado por todas las transacciones que realiza un vehículo desde que entra hasta que sale de la autopista.

Los viajes son agrupados con la información temporal de las transacciones, lo cual permite utilizar esta información para calcular tiempos de recorrido y velocidades medias.

Este módulo puede trabajar con transacciones de pórticos Free-Flow y de peaje tradicional. Así, se podría armar un viaje de un vehículo que entrase en una vía de peaje tradicional, y que pasase por un pórtico de Free-Flow más adelante, y viceversa. En este caso es necesario que ambas vías incluyan la funcionalidad de reconocimiento de matrículas (OCR) y de lectura de TAGs.

El sistema Back Office funciona a partir de parámetros que permiten adaptar procesos de negocio (ciclo comercial, gastos administrativos, penalizaciones por infracción, descuentos, etc.) con múltiples criterios de búsqueda y selección.

La aplicación de este sistema posee una interfaz de usuario amigable y de fácil navegación, con la capacidad de gestionar diferentes tipos de cuentas y clientes adaptándose a las reglas de negocio de la autopista.

El Back Office asegura el correcto procesamiento de todas y cada una de las transacciones llevando a cabo la trazabilidad de las transacciones: cada transacción/infracción puede ser

analizada desde su origen hasta su cobro. Los procedimientos de auditoría y validación de infracciones aseguran la exactitud de sus datos. Todas las posibles infracciones son detectadas y procesadas por el sistema posibilitando su seguimiento hasta su estado final.

### 4.3. Websites

---

Una de las características de este sistema de gestión de tele-peaje es que los clientes podrán consultar las tarifas aplicadas en la carretera vía web. El MTD implementará una interfaz para compartir de forma segura las tarifas publicadas con los sitios web públicos de la concesionaria. Los protocolos de seguridad y validaciones internas posibilitan la transacción segura de información a los Websites.

Las tarifas que se enviarán a los sitios web son las mismas que las que el MTD envía al Back Office, sin embargo, estos dos procesos son independientes y no están vinculados.

MTD proporcionará la siguiente información a las páginas web:

- Tarifas actualmente publicadas e histórico de tarifas publicadas, con el fin es facilitar a los usuarios la consulta a través de Internet de las distintas tarifas que han sido publicadas.
- Medias de las tarifas de cada hora durante el día anterior.
- Información de descuentos.

## 5. Módulo de Tarificación Dinámica

---

El Módulo de Tarificación Dinámica MTD es el máster de tarifas del sistema de gestión del peaje. Este módulo se encarga de proporcionar los precios dinámicamente según el estado de la carretera.

La tarifa de peaje se debe determinar y ser transmitida claramente al usuario. Tradicionalmente, los peajes son importes fijos basados en las características del vehículo. Los peajes se pueden evaluar en un punto en el trayecto de la vía, o en base a la distancia recorrida. Los avances en el seguimiento de las condiciones de tráfico permiten hacer depender las tarifas de peaje a variables en función del nivel de congestión.

Se usa esta funcionalidad para controlar la congestión de las vías, mediante el control de la velocidad y las condiciones de volumen de tráfico de la carretera. Su función es ajustar dinámicamente la tarifa de peaje en los carriles administrados dependiendo principalmente del tiempo que se puede ahorrar un conductor por hacer uso del peaje, frente al tiempo que tardaría por los carriles de propósito general. Este módulo obtiene esta diferencia a partir de la velocidad del tráfico para cada sentido de la carretera y los flujos de automóviles que circulan por ellos.

Este estudio utiliza los datos obtenidos por los sensores, tanto de los carriles gestionados por como de los carriles de propósito general. La principal función de MTD es garantizar un servicio mínimo a sus clientes que consiste en proporcionar una velocidad mínima de circulación de 80km/h. A partir de este principio se valora, según las condiciones del tráfico, el precio que el usuario deberá pagar.

El módulo de tarificación controlará el volumen de vehículos que acceden a los carriles administrados fomentando o disuadiendo a los conductores mediante el cambio dinámico de las tasas del peaje. Por ejemplo, en el caso de que el peaje esté muy concurrido, se elevarán los

precios para disuadir a los conductores y poder asegurar la velocidad mínima de la vía. Pero también existe la situación en la que los carriles gestionados estén siendo poco transitados, por lo que igualmente se llevará a cabo una disminución de precios para incentivar el uso del peaje.

Los conductores de los carriles gestionados, verán cómo las tarifas se ajustan en función de la media de velocidad o el número de vehículos que quieren utilizar la autopista. Mediante la tarificación dinámica se gestionará el tráfico de manera que se garantizará a los conductores realizar sus desplazamientos habituales de la forma más rápida. Cuando no sean horas punta, las tarifas descenderán respecto a los momentos de mayor tráfico. El diseño conceptual del proyecto ofrecerá a los conductores la opción de pagar por utilizar el sistema de peaje, o circular por los carriles de propósito general.

Para el desarrollo de este funcionamiento se implementará un Algoritmo de Tarificación Dinámica ATD de ajuste de tarifas. El algoritmo optimizará los ingresos cambiando los precios de acuerdo a varias variables. El ATD será descrito en profundidad más adelante.

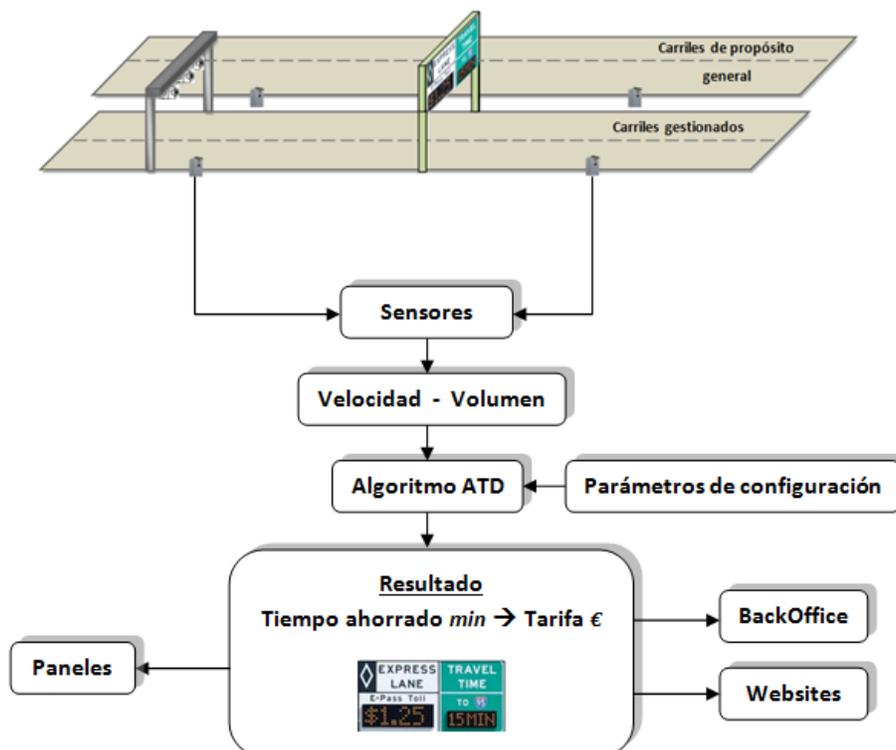


Ilustración 16. Módulo de tarificación

Este módulo de tarificación proporciona las tarifas al sistema de Back Office, encargado de asociar los precios a cada transacción de vehículos. De esta manera, el Back Office recibirá una tabla de tarifas con todos los precios que deberá aplicar para cada momento del día y cada vehículo desde MTD.

Los usuarios de las concesionarias son los encargados de gestionar las distintas funcionalidades que ofrece MTD. Controlarán y mantendrán todas las herramientas que proporciona el sistema a partir de una aplicación con una interfaz gráfica GUI destinada para este uso.

Tras el estudio del funcionamiento general del sistema MTD, y habiendo obtenido unos conocimientos de *qué* se va a implementar, el proyecto continúa con el *cómo* se implementará mediante el análisis y desarrollo de los casos de uso del módulo de tarificación.

### 5.1. Especificación y Análisis de los Casos de Uso

---

El módulo de tarificación estará dividido en diversos sub-módulos a los que les corresponderán unas tareas dependiendo de las distintas funciones.

Los sub-módulos principales a tener en cuenta en este módulo son los siguientes:

1. Acceso al sistema
2. Tarificación
3. Algoritmo de Tarificación Dinámica ATD
4. Informes
5. Monitorización
6. Alarmas
7. Configuración de parámetros y procesos
8. Interfaces con los sistemas
  - 8.1 Back Office
  - 8.2 ITS
  - 8.3 Websites

Los casos de uso están divididos en dos tipos: *Batch* y *Online*. Las acciones que se llevan a cabo a través de la GUI y son gestionadas por usuarios corresponden a procesos *Online*. Las acciones que se llevan a cabo en un segundo plano sin intervención ni supervisión directa de ningún usuario, corresponden a procesos *Batch*.

Para el diseño de estos módulos se han generado los casos de uso donde se describen los pasos y las actividades (métodos) que se llevan a cabo para su funcionamiento. Todos los casos de uso siguen la siguiente estructura:

- ❖ **Descripción**  
Definición de la actividad que se describirá en el caso de uso.
- ❖ **Precondiciones**  
Requerimientos y condiciones que deben darse en el sistema para el correcto funcionamiento del caso en cuestión.
- ❖ **Resultados esperados**  
Situación final del sistema tras la ejecución descrita en el caso de uso.
- ❖ **Usuarios**  
Actores que intervienen en la ejecución o que demandan la funcionalidad del caso de uso.
- ❖ **Entradas**  
Datos de entrada que utiliza para el desarrollo de la actividad descrita en el caso de uso.
- ❖ **Salidas**  
Resultado de la actividad descrita.
- ❖ **Flujo del proceso**
  - **Flujo normal**  
Pasos a seguir en la aplicación, con o sin intervención de actores externos, para el funcionamiento normal de la funcionalidad descrita.
  - **Flujos alternativos**  
Pasos a seguir en caso de no desarrollarse el flujo normal. Contempla posibles fallos, errores y cancelaciones.
- ❖ **Reglas de negocio**  
Requisitos y condiciones que la funcionalidad debe cumplir.

❖ **Validaciones**

Validaciones que se llevan a cabo a lo largo del desarrollo de la actividad con el fin de cumplir las reglas de negocio.

❖ **Cálculos**

Descripción de las operaciones matemáticas que pueden necesitarse a lo largo de los pasos realizados en el caso de uso.

❖ **Atributos**

Definición de las variables y parámetros que intervienen en el caso de uso.

❖ **Referencias**

Relaciones con otros casos de uso, funciones o procesos del sistema.

## 5.1.1. Módulo de Acceso al Sistema

---

Este módulo es el responsable del acceso a la aplicación y de gestionar las cuentas de los usuarios que la utilizarán.

El acceso a la interfaz gráfica del sistema de tarificación se llevará a cabo a partir de una URL que accederá a la pantalla de Log-in de la aplicación.



Welcome to MTD

User

Password

Language   
English  
Spanish

[Forgot password?](#)

Ilustración 17. Ejemplo de la pantalla de acceso

El usuario administrador de la aplicación podrá crear nuevos usuarios con distintos perfiles. Las cuentas de los usuarios se almacenarán en el sistema asociando datos personales (nombre, apellidos y datos de contacto) y con unos permisos que limitarán el acceso a ciertos módulos de la aplicación. Estos permisos estarán agrupados en *Grupos* y cada grupo tendrá unos permisos previamente definidos.

Los grupos son la definición de roles que otorgan derechos a los usuarios, es decir, capacidades que se les asignan a los usuarios sobre el control del peaje. Estos derechos les darán acceso a partes específicas de la aplicación.

Los casos de uso definidos para el módulo de acceso recogen, entre otras funcionalidades, las de insertar, modificar, activar, desactivar, buscar y acceder a detalles de cada uno de los perfiles de usuario. En ningún caso se permitirá eliminar usuarios o grupos del sistema, estos aparecerán como *Activos* mientras sus cuentas estén vigentes en el sistema, o *Inactivos* en caso de que se desactive e inhabilite a ese usuario/grupo.

Esto es debido a que el sistema lleva un seguimiento de todos los accesos y una auditoría de las modificaciones que se hagan en el sistema por parte de los usuarios. Estas actividades estarán registradas a partir de trazas en los ficheros de log y de tablas de auditoría en base de datos.

Este módulo también cubre otras funciones como la de exigir a los usuarios que cambien su contraseña por defecto tras el primer acceso al sistema o cambio de contraseña cada cierto tiempo parametrizado en el sistema por motivos de seguridad.

El total de casos realizados son los siguientes:

Casos de uso – Módulo de Acceso
1. Acceso de usuarios por primera vez
2. Acceso de usuarios
3. Cambio de contraseña
4. Modificación de idioma
5. Desconexión
6. Configuración de parámetros
7. Creación de usuarios

Casos de uso – Módulo de Acceso
8. Búsqueda de usuarios
9. Modificación de usuarios
10. Detalles de usuarios
11. Desactivar usuarios
12. Activar usuarios
13. Crear grupos
14. Búsqueda de grupos
15. Modificación de grupos
16. Detalles de grupos
17. Desactivación de grupos
18. Activación de grupos

Tabla 1. Casos de uso del Módulo de Acceso

## 5.1.2. Tarificación

---

Este módulo cumple la funcionalidad principal de todo el sistema, la generación de tarifas. Aunque el sistema se llama Módulo de Tarificación Dinámica, el sistema también permite generar tarifas programadas en las que no influyan las condiciones de la carretera. Para ello un usuario podrá cambiar el modo de funcionamiento del peaje entre **Programado** y **Dinámico**. A continuación se definirán las funcionalidades que se encuentran en este módulo.

### ❖ Modos de funcionamiento de la aplicación

El sistema de gestión de tarificación de este peaje puede trabajar en tres modos distintos: modo Programado, modo Dinámico y modo Por Defecto.

El modo **Programado** consiste en la introducción de tarifas manualmente por parte del usuario a través de la GUI, formando así un calendario predefinido de tarifas. Hay que recordar que el Back Office asigna precios a las transacciones de los vehículos por pórtico, de tal manera que el precio

total cada viaje será la suma del importe de todos pódicos por donde por donde un vehículo ha circulado.

Las tarifas se asignan por segmentos, por lo que la aplicación exigirá la introducción de un importe por cada pódico perteneciendo a ese segmento. Para facilitar la asociación de importes al usuario, la aplicación ofrecerá opciones como insertar una tarifa asignándosela a todos los pódicos automáticamente, o el cálculo automático de una tarifa recomendada basada en las últimas tarifas introducidas en el sistema. Por ejemplo, si suponemos dos segmentos con tres y dos pódicos respectivamente, un ejemplo de una posible asignación de importes podría ser:

Nombre	Modo	Segmento	Pódico	Precio
T1	Programado	Segmento 1	Pódico 1	1 €
			Pódico 2	1 €
			Pódico 3	1,50 €
T2	Programado	Segmento 1	Pódico 1	1,50 €
			Pódico 2	1€
			Pódico 3	1,75 €
T3	Programado	Segmento 1	Pódico 1	1€
			Pódico 2	1,50 €
			Pódico 3	1€
T12	Programado	Segmento 2	Pódico 7	2 €
			Pódico 8	1,25 €

Tabla 2. Ejemplo tarifas por segmento y pódico

El sistema realiza una validación de los datos introducidos por el usuario de tal forma que cada tarifa individual no puede crearse sin introducir todos los datos correctamente.

La aplicación ofrece la opción de generar tarifas que serán válidas por intervalos de tiempo específicos. Los distintos intervalos están divididos por niveles según las características del periodo de tiempo en el que una tarifa aplique.

- En una tarifa de Nivel 1 solo se podrá definir la fecha de inicio y fin de la vigencia de la tarifa.
- Una tarifa de Nivel 2 permitirá definir día y hora de inicio y fin de la vigencia.
- Para las tarifas de Nivel 3 se ofrece la posibilidad de seleccionar además los días de la semana.

Las tarifas de nivel más alto prevalecerán frente a las de niveles más bajos, como se muestra en el ejemplo siguiente:

Nombre	Modo	Nivel	Fecha Inicio	Hora de inicio	Fecha Fin	Hora Fin	Día Semana
T1	Programado	1	14/10/2013		21/10/2013		
T2	Programado	2	15/10/2013	13:00	20/10/2013	16:00	
T3	Programado	3	14/10/2013	15:00	19/10/2013	17:00	L-M-X-V

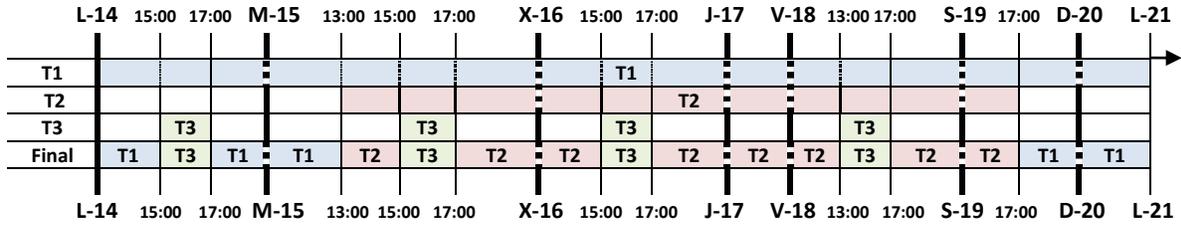


Tabla 3. Ejemplo aplicación según niveles de tarifas

Todas las tarifas generadas en modo *Programado* se guardarán en base de datos y solo serán efectivas si la aplicación se encuentra trabajando bajo este modo en el momento de que se encuentren en vigor. Una vez que el periodo de aplicación de una tarifa es superado, dicha tarifa se marca como *Histórica* y no se permite su modificación ni eliminación, debido de nuevo a motivos de seguridad y auditoría.

La aplicación permite la subida al sistema de tarifas de forma masiva, mediante un documento de extensión \*.xls que contenga todas las tarifas definidas en Nivel 3.

Todas las tarifas programadas almacenadas en el sistema podrán ser consultadas por los usuarios y estos podrán acceder a sus detalles. Solo las tarifas generadas para periodos futuros que no hayan entrado en vigor podrán ser eliminadas.

El modo ***Dinámico*** es el modo de funcionamiento en el que las tarifas se calcularán a partir del estado de la carretera gracias a un algoritmo de tarifación (ATD). Este algoritmo calculará tarifas cada minuto proporcionando un importe por cada pórtico.

No todas las tarifas generadas por ATD serán efectivas. Como se mencionó anteriormente cuando se trató la sección de los paneles de la carretera, las tarifas solo pueden ser cobradas a los clientes cuando se tenga confirmación de que han sido publicadas previamente en los paneles y deben ser vigentes durante un periodo mínimo de cinco minutos. Por esta razón, y porque carecería de

sentido cambiar las tarifas minuto a minuto, se establece un periodo mínimo de vigencia de cinco minutos. Independientemente de que algoritmo se ejecute cada minuto, ninguna tarifa dinámica enviada al Back Office aplicará en un intervalo de tiempo menor a cinco minutos.

Las tarifas dinámicas se guardan en base de datos y serán enviadas al Back Office cuando los paneles de ITS confirmen la publicación de las tarifas.

Los modos de operación del peaje se controlarán a partir de una pantalla en la GUI, donde se cargarán automáticamente todos los pódicos y donde se podrá seleccionar el modo deseado, Dinámico o Programado.

Toda modificación quedará registrada mediante trazas en los ficheros de log y en las tablas de auditoría.

#### ❖ **Modos de funcionamiento según los paneles**

A parte de los modos anteriores, existen dos modos que dependen directamente del estado de los paneles. Los paneles de ITS son componentes fundamentales para que la tarificación sea efectiva, ya que si no se ha informado previamente a los conductores de la tarifa aplicable en el peaje, está no será válida. Por esta razón el módulo de tarificación MTD recibirá periódicamente información sobre el estado de los paneles para llevar un control sobre lo que se está mostrando en ellos.

El modo **Por Defecto** es aquel que está formado por las tarifas que aplicarán en caso de que los paneles no estén disponibles y no publiquen ninguna información, o cuando haya una pérdida de comunicación entre MTD e ITS. Estas tarifas se hacen públicas con antelación en diversos medios de comunicación como pueden ser periódicos o internet, y serán válidas aunque no sean mostradas en los paneles.

La creación de estas tarifas se realiza igual que en el caso de la generación de tarifas del modo *Programado*, pero en este caso solo serán válidas tarifas de Nivel 2 (asignando fecha y hora de inicio y de fin). Los periodos de vigencia de estas tarifas no podrán estar solapados. Si un usuario intentase introducir una tarifa por defecto para una fecha para el que ya se encuentre otra tarifa en el sistema, se mostraría un mensaje de error y no se guardaría ninguna modificación.

Este tipo de tarifas se enviarán a ITS para que los paneles dispongan de ellas con suficiente antelación en caso de pérdida de comunicación. Un proceso almacenado se encargará de ejecutar este envío, el cual enviará por primera vez las tarifas por defecto correspondientes a un número de días establecido en un parámetro del sistema, y los días siguientes otra cantidad de tarifas (que estará definida en otro parámetro) a partir de la última tarifa enviada el día anterior. La finalidad de este modelo de envío es evitar que la red se sature por el envío masivo de tarifas por defecto, y así distribuir esa carga de datos en varios días.

En caso de que lo que ocurra sea una pérdida de comunicación entre MTD y los paneles, ITS enviará al módulo de tarificación, una vez recuperada la comunicación, todas las tarifas que fueron publicadas durante la falta de comunicación. Estas tarifas serán marcadas directamente como pendientes de revisión y se levantará una alarma para que los usuarios lo comprueben en la pantalla de chequeo de tarifas que se verá más adelante.

La aplicación permite la posibilidad de ver en un calendario las tarifas del modo *Programado* y las tarifas del modo *Por Defecto*.

El segundo modo que depende de los paneles, y más concretamente del estado de la carretera, es el modo de **Emergencia**. El tele-peaje Free Flow se lleva a cabo en carriles gestionados paralelos a los carriles convencionales de una autopista. El modo de *Emergencia* se activará en casos de accidente de tráfico o cualquier incidente que haga imposible la circulación por los carriles gestionados o por los carriles de propósito general. En esta última situación los carriles administrados quedan abiertos gratuitamente a todos los vehículos, convirtiéndose así en carriles de propósito general hasta que se solucione el incidente en las vías libres de pago. Sin embargo, el funcionamiento del peaje seguirá en marcha en un segundo plano, por lo que ITS informará a MTD de la activación del modo de *Emergencia* para que el coste del peaje en este intervalo de tiempo sea cero.

### ❖ **Comprobación de Tarifas**

En caso de que la confirmación de la publicación de las tarifas en los paneles no llegue a MTD, o que ésta indique que la tarifa publicada no se corresponde con que debiera, se levantará una alarma en el sistema para que el problema sea gestionado manualmente por un usuario.

Para resolver estas alarmas se establece una pantalla que permitirá el chequeo de tarifas y su corrección tanto de importe como de periodo de validez. En esta pantalla se mostrarán las imágenes de los paneles así como el video que corresponde con al cambio de la publicación de la tarifa en los paneles. Las imágenes de todos los paneles se obtienen periódicamente y son almacenadas en un sistemas de ficheros (en disco) y no en la base de datos de MTD debido a la gran volumen de información que suponen. Los vídeos no son almacenados para evitar la congestión de la red, ya que supondría el envío de una cantidad muy grande de datos cada poco tiempo. La visualización de video será *streaming*, mediante un protocolo RTSP que accederá a la ruta de almacenamiento de video de ITS.

El usuario podrá verificar si se produjo un error en la publicación de las tarifas, y una vez detectado y solucionado el problema, podrá modificar esa tarifa manualmente y marcarla como pendiente de envío al Back Office. También deberá establecer la causa por la que esa tarifa se modificará.

La pantalla de chequeo de tarifas ofrecerá la posibilidad de consultar todas las tarifas que hayan sido publicadas en los paneles hasta el momento, tanto si estas pertenecen al modo *Dinámico* o *Programado*.

El cálculo de las tarifas dinámicas y su comportamiento con respecto a la velocidad y tráfico de la vía se estudiará más adelante en la sección 7. *Algoritmo de Tarificación Dinámica ATD*.

#### ❖ Mapa

El sistema monitoriza la información de las tarifas usando un mapa de la autopista en una de las pantallas de la interfaz gráfica. Este mapa mostrará los distintos segmentos y contendrá marcadores sobre el estado de la carretera. A través del mapa general se podrá acceder individualmente a cada segmento para conocer el estado y situación de los dispositivos de la carretera. Este último mapa mostrará la información que se indica a continuación:

- Localización en el mapa de los sensores indicando el volumen de tráfico y la velocidad media en el momento de la carga del mapa.
- Indicará la tarifa dinámica que corresponda al momento de la carga del mapa, independientemente de si los pórticos de ese segmento están trabajando en modo *Programado*, *Dinámico*, o corresponda una tarifa del modo *Por Defecto* o *Emergencia*.

- Información sobre incidentes y sobre el clima.
- Localización de los paneles indicando su modo de funcionamiento y el valor de la tarifa que se está mostrando en el momento de la carga del mapa.
- Información sobre el segmento: longitud, tiempo ahorrado por circular por los carriles gestionados y localización de los pódicos.
- Gráficas donde se muestren la velocidad, volumen y tiempo ahorrado durante en un periodo de tiempo de 24 horas para un segmento seleccionado.

### ❖ Descuentos

Los paneles de ITS no solo publican mensajes sobre las tarifas de los pódicos, también pueden informar sobre más detalles del peaje como por ejemplo los descuentos.

Los descuentos se definen en el Back Office y se aplican una vez calculado el precio total a cobrar a los clientes según las tarifas que le indica MTD al Back Office. MTD solo necesita la información del descuento VAO para la ejecución del algoritmo, sin embargo recibe la información de todo tipo de descuentos debido a que va a actuar como intermediario entre el Back Office e ITS.

El Back Office solo tiene comunicación de entrada con ITS por lo que no se le permite enviar ningún dato a la carretera. Debido a que MTD tiene comunicación dúplex con ambos sistemas, es el encargado del envío de los descuentos a ITS para su publicación en los paneles. De esta manera, Back Office enviará a MTD toda la información de descuentos, y este se encargará de que los paneles los reciban. La aplicación permitirá consultar estos descuentos y ver sus detalles, pero no se permitirá modificarlos ya que no son responsabilidad de este sistema.

Todos las modificaciones de este módulo son registradas en las tablas de auditoría, y se mantendrá un seguimiento mediante logs de todas las ejecuciones de procesos y cambios realizados.

Los casos de uso desarrollados para este módulo donde se especifican todas las funcionalidades aquí descritas son los siguientes:

Casos de uso – Módulo de Tarificación
1. Creación de tarifas

Casos de uso – Módulo de Tarificación	
2.	Detalles de tarifas
3.	Búsqueda de tarifas
4.	Modificación de tarifas
5.	Eliminación de tarifas
6.	Calendario de tarifas
7.	Carga masiva de tarifas
8.	Chequeo de tarifas y envío a Back Office
9.	Búsqueda de descuentos
10.	Detalles de descuentos

Tabla 4. Casos de uso del Módulo de Tarificación

### 5.1.3. Configuración del ATD

La aplicación de una tarifa dinámica se fundamenta en la asignación de precios variables según el estado de la vía y garantizando una velocidad de circulación mínima de 80 km/h. Este sistema se basa en un Algoritmo de Tarificación Dinámica (ATD) que calcula la tarifa base más indicada para cada situación y cada tipo de vehículo.

Entre los parámetros de entrada del algoritmo del módulo de tarificación, se usará la información que se obtiene de las vías, tanto de la vía convencional (carriles de propósito general) como la vía de peaje (carriles gestionados), de manera que puede comparar sus condiciones en todo momento. Estos datos provienen de la serie de sensores que están situados en los pórticos o en un entorno cercano a los pórticos, los MVD, que miden la velocidad, y el volumen de tráfico.

El algoritmo que calcula la tarifa tendrá memoria, es decir, tendrá en cuenta estados anteriores de la carretera utilizando diversas variables que optimizan su comportamiento.

Otros datos de entrada importantes serán las especificaciones propias de la concesionaria de la carretera que establece la configuración básica.

El ATD tendrá la capacidad de proveer al sistema de Back Office de tarifas cada cierto tiempo, siendo el propio Back Office el responsable del cobro del importe. A su vez, el algoritmo estará preparado para trabajar en varios modos de funcionamiento, distintos a los modos de operación del MTD, con la intención de ajustar las tarifas, prevenir posibles errores, y controlar las situaciones que puedan surgir en el trascurso de la ejecución de los procesos de todos los sistemas que intervienen en el peaje.

Este módulo es el encargado de gestionar las herramientas necesarias para que el algoritmo se ejecute satisfactoriamente cada minuto.

El ATD debe ser inicializado con una configuración que establece los parámetros a tener en cuenta durante su ejecución. Esta configuración se introduce a partir de dos ficheros que contienen datos fundamentales para el funcionamiento del algoritmo:

- Fichero de Configuración: Contiene la situación de los dispositivos en la carretera, la localización de los sensores dentro de los segmentos, así como la longitud de los segmentos y las distancias entre los accesos, salidas y pórticos.  
También contiene datos sobre la configuración de la carretera, indicando que pórtico está relacionado con cada sensor del que se va a obtener información.
- Fichero de Controlador de Tarifas: Contiene tarifas básicas de las que partirá el algoritmo e variables a tener en cuenta en la ejecución.

Estos archivos junto a las variables y parámetros que usará el algoritmo se denominan *Controladores* y dependiendo de ellos el algoritmo seguirá un flujo determinado u otro. De esta forma para las mismas condiciones de vía pero variando los *Controladores* se obtendrán tarifas distintas.

En el sistema pueden existir varios ficheros de cada tipo simultáneamente. Cada fichero se puede asignar a uno o varios días, siempre y cuando no se solapen entre ellos.

Para evitar la falta de configuración en una fecha determinada, el sistema siempre tendrá almacenado un fichero de cada tipo por defecto. Al igual que las tarifas, la aplicación ofrece una pantalla donde se podrá ver en un calendario los controladores que aplican cada día.

La aplicación de MTD tendrá una pantalla para la carga y gestión de estos archivos. También ofrecerá la opción de simular y comparar tarifas dependiendo de los controladores usados. En esta comparación se mostrarán una serie de gráficas donde se muestren la tarifa media en función del tiempo ahorrado para un segmento seleccionado previamente.

La gestión de los archivos de configuración del ATD y sus ejecuciones quedarán reflejadas en los ficheros de log del sistema.

Los posibles errores que puedan suceder provocarán la generación de alarmas para que posteriormente un usuario se encargue de gestionarlos y solucionarlos.

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

<b>Casos de uso – Módulo de Configuración del ATD</b>	
1.	Instancias de ATD
2.	Detalles de controladores
3.	Modificación de controladores
4.	Eliminación de controladores
5.	Comparación de controladores
6.	Calendario de controladores
7.	Carga de archivos de configuración

Tabla 5. Casos de uso del Módulo del Algoritmo de Tarificación Dinámica

## 5.1.4. Informes

La generación y consulta de informes es una herramienta de control que ofrece el MTD. La generación de informes que contengan información de datos históricos se realizará mediante procesos ETL (Extract, Transform and Load) a partir de los cuales se extraerán datos desde MTD para hacerlos accesibles a los usuarios a través de herramientas de Business Intelligence. Este tipo de informes lee de base de datos y realiza transformaciones, validaciones y filtrados para que finalmente los datos estén disponibles en documentos para que los usuarios los puedan analizar.

El módulo de tarificación genera informes que estarán divididos a su vez en dos clases. Existirán informes creados automáticamente e informes que se crearán bajo demanda de los usuarios:

- 📄 **Informes bajo demanda:** Son aquellos informes que no están relacionados con datos históricos del sistema y que suelen tratar cantidades de información no muy altas. La aplicación permite realizar búsquedas y generar informes sobre los resultados de estas búsquedas. A este tipo de informes corresponden los de eventos o auditoría.
  
- 📄 **Informes pre-generados:** Esta clase de informes acceden a cantidades muy grandes de información y por eso se generan periódicamente de manera controlada por la planificación de los procesos. Estos informes generados automáticamente pueden ser consultados a través de una pantalla de la interfaz gráfica de la aplicación. A este tipo de informes corresponderán los informes de análisis de tarifas o los que concentran información operacional (datos recibidos de los sensores, paneles, y demás dispositivos de la carretera).

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

Casos de uso – Módulo de Informes
1. Informes de Alarmas
2. Informes Operacionales
3. Informes de Auditoría
4. Informes de Velocidad Mínima superada
5. Informes de Velocidad y Tráfico
6. Informes de Tarifas Base

Tabla 6. Casos de uso del Módulo del Informes

## 5.1.5. Monitorización

---

La interfaz gráfica permite la consulta del estado de las comunicaciones que MTD mantiene con otros sistemas, así como monitorizar las funciones principales de la aplicación.

La monitorización se puede dividir en tres partes:

- **Sistema de Logs:** El sistema monitoriza todas las operaciones de la aplicación mediante el seguimiento de las trazas que son escritas en los ficheros de log. Estos mensajes son generados cada vez que se lanza un proceso o se crea una comunicación con un sistema externo. Su contenido indicará la fecha en la que se registra la acción, el proceso y el método responsables de llevarla a cabo, y una descripción detallada de la acción.  
En caso de que se generen errores en el sistema se levantará una alarma, la cual quedará registrada igualmente en el fichero de log.
- **Sistema de Comunicaciones:** MTD controla el estado de las comunicaciones en todo momento. Para ello la GUI tiene dentro de este módulo una pantalla donde se pueden visualizar las comunicaciones, así como el último proceso ejecutado que estableció la comunicación y la fecha en la que hizo.  
Si la comunicación con ITS se pierde, MTD dejará de enviar tarifas a la carretera y los paneles continuarán mostrando la última información enviada hasta que ITS detecte la pérdida de comunicación, a partir de lo cual los paneles comenzarán a mostrar las tarifas por defecto que tienen almacenadas. Esto no implica que el algoritmo del módulo de tarificación deje de funcionar, ya que este estará activo en todo momento independientemente del modo de trabajo y el estado de las comunicaciones. MTD recibirá la confirmación de la información publicada en la autopista durante el tiempo de sin conexión con ITS cuando la comunicación con este sistema se recupere.  
Si la pérdida de comunicación es con el Back Office, MTD seguirá trabajando con normalidad, a excepción del proceso de envío de tarifas. En el momento que se restablezca la comunicación con el Back Office después de un periodo de desconexión, MTD enviará todas las tarifas pendientes.
- **Sistema de Auditoría:** El sistema contará con unas tablas en base de datos destinadas a la auditoría donde se guardarán los datos más importantes de la aplicación como la información de tarifas, controladores, parámetros y usuarios. Esta auditoría permite llevar un control de la aplicación de manera que se pueda consultar desde la actividad que llevan a cabo los usuarios hasta la generación de tarifas.

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

Casos de uso – Módulo de Monitorización
1. Trazabilidad de Logs
2. Búsqueda de Logs
3. Control de Auditoría
4. Control de Estado de las Comunicaciones

Tabla 7. Casos de uso del Módulo de Informes

## 5.1.6. Alarmas

---

Las alarmas son avisos relativos a errores o acciones importantes llevadas a cabo por el sistema. Las alarmas pueden ser lanzadas desde distintos módulos de la aplicación y pueden ser debidas tanto a eventos software como a eventos hardware.

La finalidad de estas alarmas es informar sobre eventos sucedidos en MTD o bien para informar de acontecimientos importantes o bien que requieran una gestión manual para solucionar posibles problemas.

El MTD genera las alarmas dependiendo del tipo (software o hardware) y del módulo en que se produzcan, pero no llevará la gestión de las mismas. La gestión de las alarmas es parte del alcance de ITS, por lo que MTD deberá hacérselas llegar tras generarlas.

Las alarmas contendrán toda la información relevante para su resolución:

- Módulo desde donde se lanzan
- Proceso que la genera
- Severidad de la alarma
- Segmento con el que está relacionado
- Descripción detallada del evento o problema

Las alarmas software son generadas por los procesos ejecutados en el sistema que detectan situaciones especiales o irregularidades en el comportamiento de la aplicación. Pueden ser lanzadas desde cualquier módulo e indican principalmente errores que no pueden ser solucionados automáticamente.

Las alarmas hardware están configuradas mediante agentes SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Estos agentes enviarán información sobre el rendimiento del hardware del sistema de MTD.

MTD usará agentes SNMP para comunicar al sistema administrador de red de forma asíncrona las posibles alarmas hardware, como fallos de comunicación o falta de espacio en disco. Los agentes SNMP pre-configurados en el sistema enviarán información sobre el rendimiento del hardware. Estos eventos no se generan directamente por la aplicación de MTD y por lo tanto no les corresponde ninguna generación de casos de uso, aunque si se definirá una interfaz de control ya que estas alarmas serán gestionadas por el administrador de red del sistema ITS.

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

Casos de uso – Módulo de Alarmas
1. Generación de alarmas software
2. Envío de alarmas software

Tabla 8. Casos de uso del Módulo de Alarmas

## 5.1.7. Configuración de parámetros y procesos

---

Todo el sistema de tarificación está parametrizado. Uno de los objetivos de este proyecto es que sea accesible y adaptable a más concesionarias de otros posibles peajes, por lo que es indispensable que las herramientas sean configurables ante distintos escenarios.

La interfaz gráfica de la aplicación dispone de una pantalla que contiene todos los parámetros del sistema divididos por los módulos en los que aplican.

La planificación de las tareas como la ejecución de procesos de comunicación con sistemas externos, o la generación de informes automáticos, se llevará a cabo a partir de una pantalla de gestión de tareas. Esta pantalla contendrá los procesos que pueden ser programados por los usuarios mediante una expresión *Cron*.

Una expresión *Cron* es una cadena de texto compuesta por 5 o 6 campos separados por un espacio en blanco que se utiliza para representar instantes o periodos de tiempo generalmente usado para la programación de la ejecución de tareas.

En este caso se utilizan para el framework de *Quartz*. *Quartz* es un framework *Java* para la planificación de tareas, que destaca sobre todo por su potencia y sencillez, esta potencia le viene dada por sus amplias posibilidades de configuración.

El esquema de configuración de las expresiones *Cron* es el siguiente:

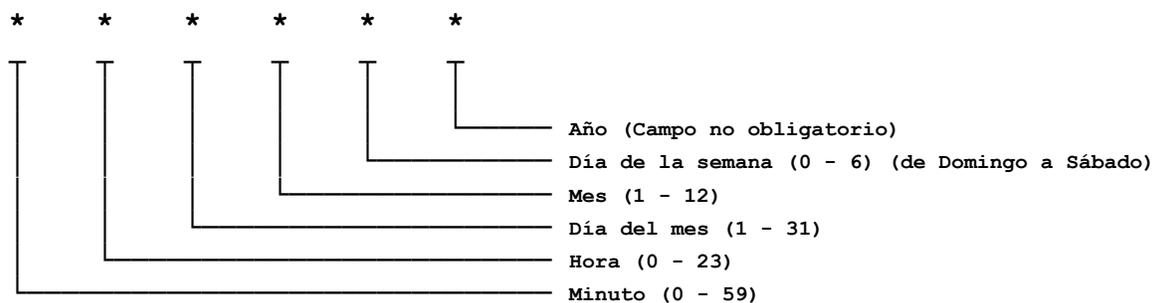


Ilustración 18. Esquema de la expresión *Cron*

La expresión *Cron* también acepta algunos caracteres especiales. Entre los más comunes se encuentran los siguientes valores:

- Asterisco (\*) o Interrogación (?): Indica que cualquier valor en ese campo es válido. Por ejemplo un asterisco en el cuarto campo significaría que se programa la tarea para todos los meses.
- Guion (-): Este caracter se usa para definir rangos. Por ejemplo “2013-2020” en el último campo significaría que se programa la tarea desde el año 2013 al 2020.
- Coma (,): Las comas se usan como separación de elementos en un mismo campo. Por ejemplo “1,5,20” en el tercer campo, significará que se programa la tarea para los días del mes que corresponda.

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

Casos de uso – Módulo del Gestión de Parámetros y Tareas
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Configuración y mantenimiento de parámetros</li> <li>2. Planificación de servicios y tareas</li> </ol>

Tabla 9. Casos de uso del Módulo de gestión de Parámetros y Tareas

## 5.1.8. Interfaz con ITS

ITS es el sistema encargado de recolectar la información que proviene de la carretera e indicar del estado de la misma. Esta información consiste en un conjunto de datos de volumen y velocidad del tráfico de los vehículos en la autopista, así como datos sobre el tiempo, emergencias, imágenes y video. Las imágenes y el video capturado de la carretera permitirán al usuario que utilice el módulo de tarificación comprobar la tarifa publicada en los paneles en cada momento.

ITS y MTD intercambiarán información en ambas direcciones. Todos los trasposos de información se llevarán a cabo por medio de llamadas a procedimientos almacenados. Un procedimiento almacenado es un proceso guardado en base de datos que es ejecutado o bien por el usuario, o bien, como en este caso, automáticamente habiendo sido previamente programado. Está implementado como un programa corriendo en el sistema cliente que se comunica con la base de datos mediante el envío de consultas SQL y recibiendo sus resultados.

MTD será en responsable de realizar estas peticiones a todos los sistemas externos con los que se quiera comunicar e intercambiar información.

- **Envío de información de los sensores desde los detectores de ITS a MTD**

MTD debe obtener por parte de ITS los datos del estado de la carretera, del tiempo y de incidentes. Esta información debe enviarse periódicamente con un periodo mínimo de un minuto. Cada vez que el tarificador recibe esta información, éste se encarga de validar la información y hacerla accesible al proceso donde se ejecuta el algoritmo que calcula futuras tarifas.

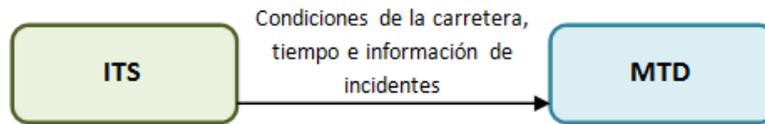


Ilustración 19. Información de sensores MVD a MTD

- **Envío de video desde ITS a MTD**

MTD obtendrá de ITS información de video de las cámaras que graban ininterrumpidamente a los paneles. Este video se almacena en la base de datos de ITS y MTD lo recuperará solo en caso de que sea solicitado por parte del usuario a través de la interfaz gráfica en la pantalla de *Comprobación de Tarifas* para verificar qué tarifa fue mostrada en un momento determinado, o comprobar cuando se llevó a cabo el cambio de tarifa en el panel. Debido al gran volumen de datos del video, esta información es la única que no se extrae de un sistema externo y se almacenan en el sistema de tarificación, sino que se accederá a ella mediante streaming con el protocolo RTSP (Real Time Streaming Protocol).

El protocolo RTSP establece y controla uno o muchos flujos sincronizados de datos, ya sean de audio o de video. RTSP es un protocolo no orientado a conexión, en lugar de esto el servidor mantiene una sesión asociada a un identificador, en la mayoría de los casos RTSP usa TCP para datos de control del reproductor y UDP para los datos de audio y vídeo aunque también puede usar TCP en caso de que sea necesario. En el transcurso de una sesión RTSP, un cliente puede abrir y cerrar varias conexiones de transporte hacia el servidor con el fin de satisfacer las necesidades del protocolo.



Ilustración 20. Envío de video ITS a MTD

- **Envío de imágenes desde ITS a MTD**

MTD ofrece a los usuarios de la aplicación una pantalla donde comprobar y modificar las tarifas publicadas donde se muestran las imágenes de los paneles (la misma pantalla donde se muestra el

video) y así poder verificar que la tarifa que se mostró en cada momento es correcta o, por el contrario, ha habido algún fallo en el sistema.

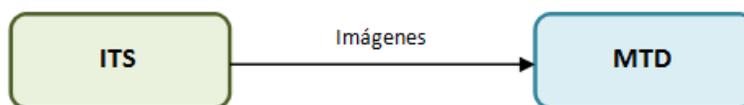


Ilustración 21. Envío de imágenes ITS a MTD

- **Envío de tarifas dinámicas y programadas desde MTD a ITS**

MTD es el encargado de enviar las tarifas y descuentos a ITS. El sistema tarifador es el responsable de calcular tarifas dinámicas usando las condiciones de la carretera que se reciben cada minuto. Estas tarifas son guardadas en la base de datos de MTD y enviadas a ITS para ser mostradas a los conductores antes de atravesar los pórticos (puntos de cobro).

Una vez enviada la información de tarifas y descuentos, MTD quedará a la espera de recibir la confirmación por parte de ITS de su publicación en los paneles.

Durante el envío de tarifas dinámicas, o en su defecto el envío de tarifas programadas, pueden darse varios escenarios que se describen a continuación:

- I. **Comunicaciones correctas en un escenario normal**

Durante el flujo normal de información, MTD enviará a ITS la información que tiene que publicar cada vez que se realiza un cambio en el importe de la tarifa que muestra un panel. Tras este envío, ITS publica la tarifa en el panel y posteriormente envía una confirmación de que ésta se está publicando correctamente. Entre MTD e ITS no se volverá a intercambiar información de tarifas publicadas hasta el próximo cambio de importe.

Las tarifas enviadas tendrán un desfase de un minuto con respecto a la fecha de generación. Este tiempo es el margen máximo de error estimado para los retardos producidos por las comunicaciones y el tratamiento de la información por parte de ITS.

Durante el cálculo de tarifas dinámicas, MTD generará una posible tarifa a enviar cada cinco minutos, pero solo se procederá al envío cuando el valor de su importe sea distinto a la última

tarifa que fue enviada a ITS. De esta forma se evitará enviar información innecesaria y duplicada, y los paneles mostrarán la misma tarifa mientras no se lo indique el sistema de tarificación.

A continuación se muestra un ejemplo de un flujo simple sobre el comportamiento de estos sistemas en una situación normal.

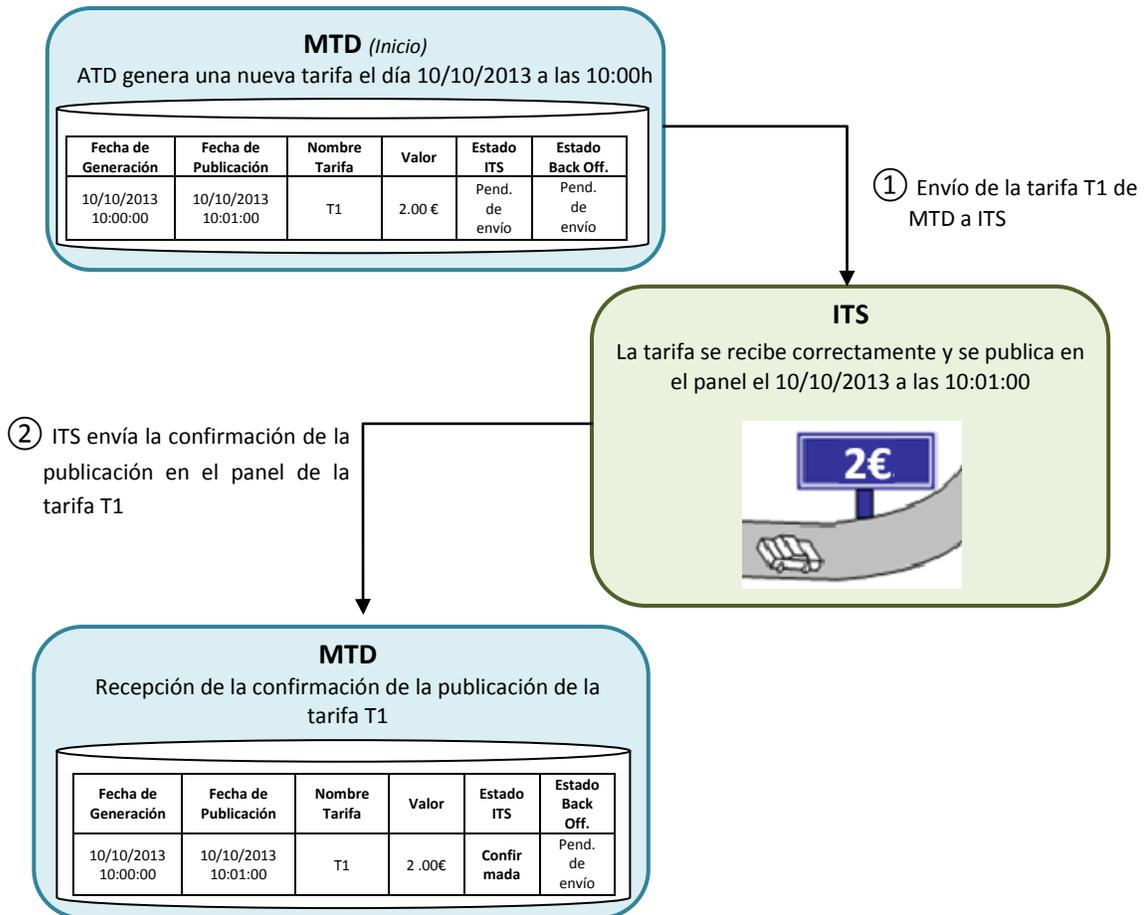


Ilustración 22. Flujo normal del procesamiento de una tarifa dinámica entre MTD e ITS

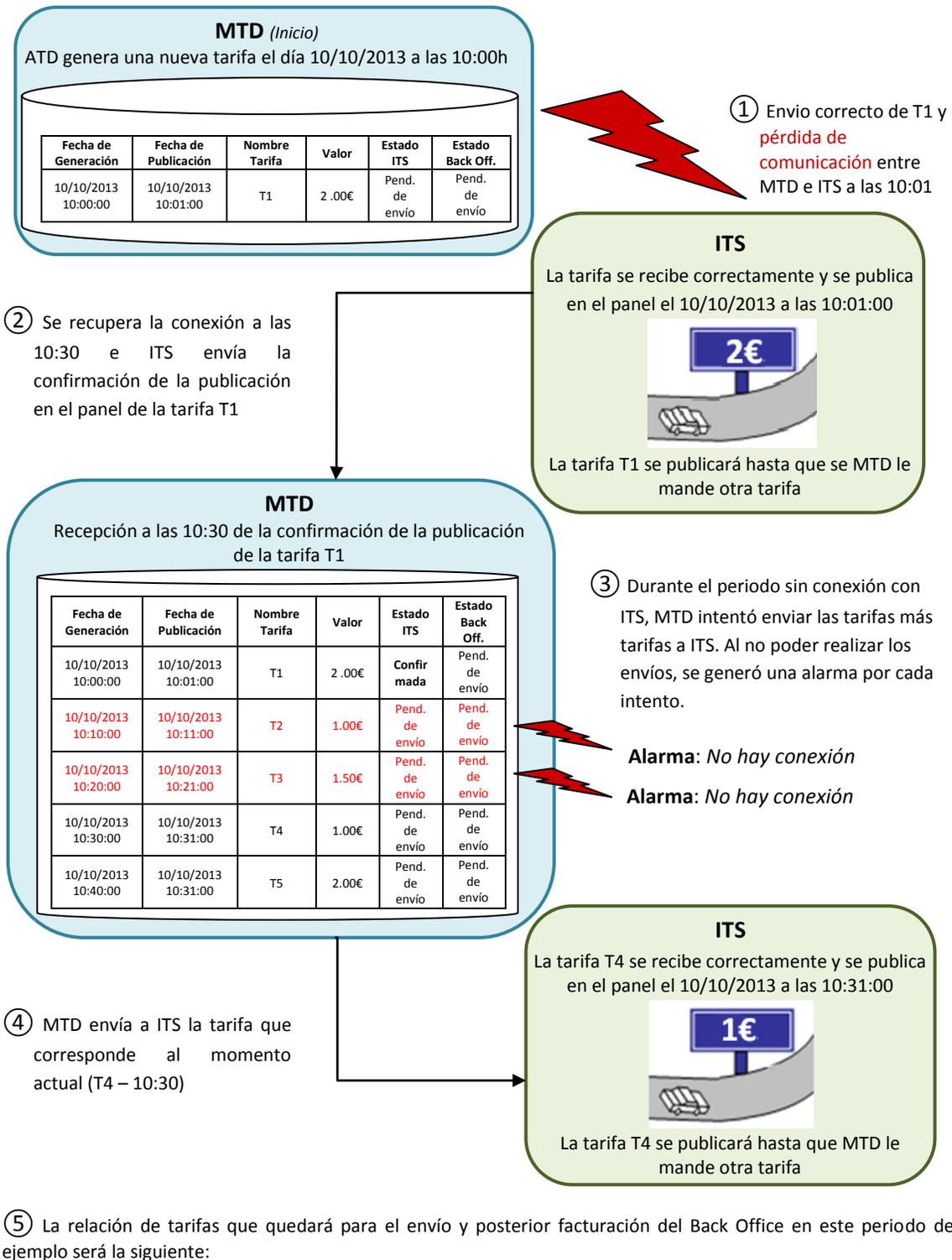
## II. Pérdida de comunicación entre los sistemas MTD e ITS

MTD comprueba el estado de las comunicaciones periódicamente ya que puede haber periodos de poca actividad entre estos sistemas y MTD no podría distinguir si es una situación normal, o una pérdida de comunicación. Ante una pérdida de comunicación entre MTD e ITS, MTD no podrá confirmar al Back Office ninguna tarifa. Durante el periodo en el que un panel no reciba nuevas

tarifas, este mantendrá la última tarifa mostrada en el panel y continuará mostrando la actual hasta que reciba una nueva tarifa, o hasta que detecte la falta de conexión y comience a mostrar las tarifas por defecto.

Una vez recuperada la conexión y comunicada una nueva tarifa, ITS enviará al MTD la confirmación de las tarifas que se han estado publicando durante el periodo sin conexión.

A continuación se muestra un ejemplo de un flujo sobre el comportamiento de estos sistemas ante una pérdida de conexión y su posterior recuperación. El ejemplo contempla una situación donde los paneles no detectan la falta de conexión (el proceso de ITS que comprueba el estado de las comunicación es mayor que el periodo de desconexión).



Fecha de Comienzo	Fecha de Finalización	Nombre Tarifa	Valor
10/10/2013 10:01:00	10/10/2013 10:30:59	T1	2.00 €
10/10/2013 10:31:00	10/10/2013 10:39:59 (No confirmado)	T4	1.00 €

Ilustración 23. Procesamiento de tarifas dinámicas entre MTD e ITS con pérdida de comunicación

▪ **Envío de tarifas por defecto desde MTD a ITS**

Las tarifas por defecto son aquellas que están diseñadas para que los paneles puedan publicarlas en caso de no tener contacto alguno con MTD. Estas tarifas son públicas, es decir, los clientes pueden consultar su valor en cualquier momento ya que estarán siempre disponibles con anterioridad a su posible puesta en efecto. Estas tarifas corresponden al valor más alto que puede ser cobrado a los conductores que circulen por esta carretera de peaje. Una vez cargadas las tarifas por defecto en el sistema a través de la aplicación por parte de un usuario, estas se enviarán a ITS para que las almacene y disponga de ellas por si fuera necesario.

El envío de estas tarifas será mediante un proceso periódico, enviado paquetes de una cantidad parametrizable de tarifas cada día, junto a posibles tarifas por defecto modificadas posteriormente a haber sido comunicadas a los paneles.

ITS enviará la confirmación de la recepción de las tarifas por defecto a MTD, y en caso de que MTD no reciba ningún asentimiento, las tarifas no confirmadas se volverán a enviar en las siguientes ejecuciones del proceso de envío hasta que estas sean confirmadas.

A continuación se muestra un ejemplo de envío de tarifas por defecto:

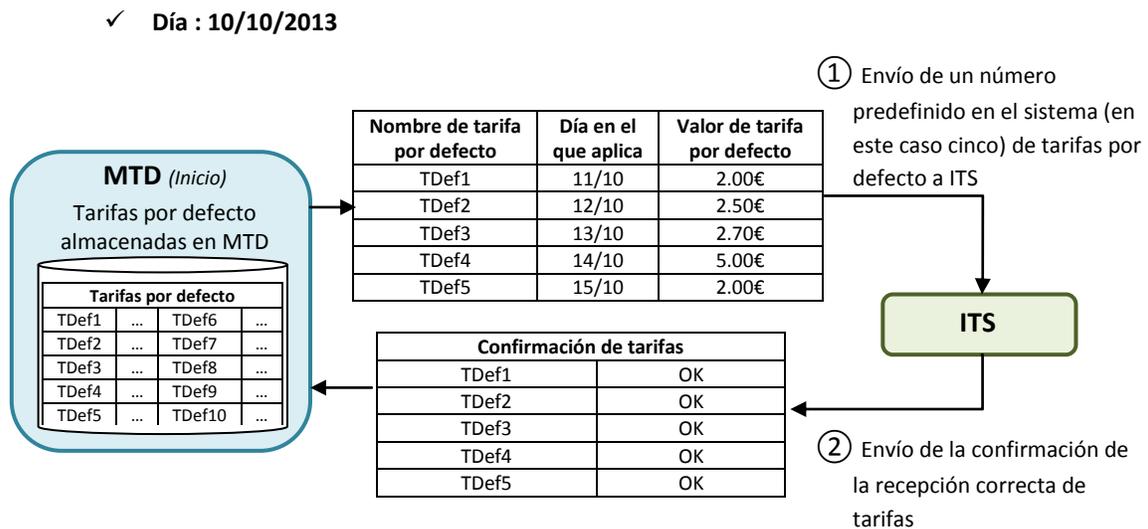


Ilustración 24. Ejemplo de proceso de envío de tarifas por defecto entre MTD e ITS (I)

✓ Día : 11/10/2013

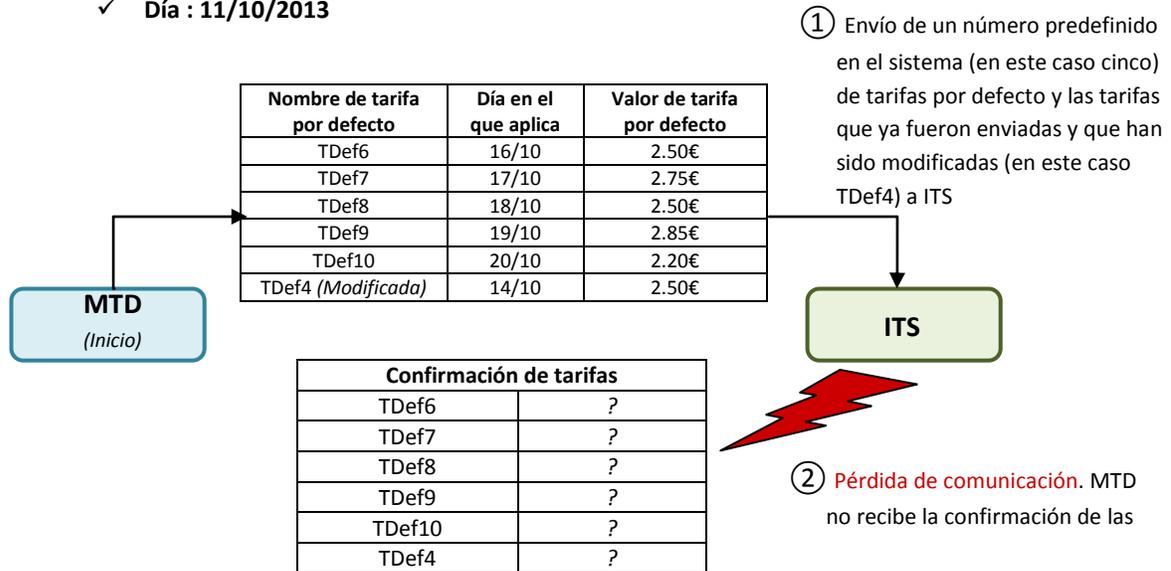


Ilustración 25. Ejemplo de proceso de envío de tarifas por defecto entre MTD e ITS (II)

✓ Día : 12/10/2013

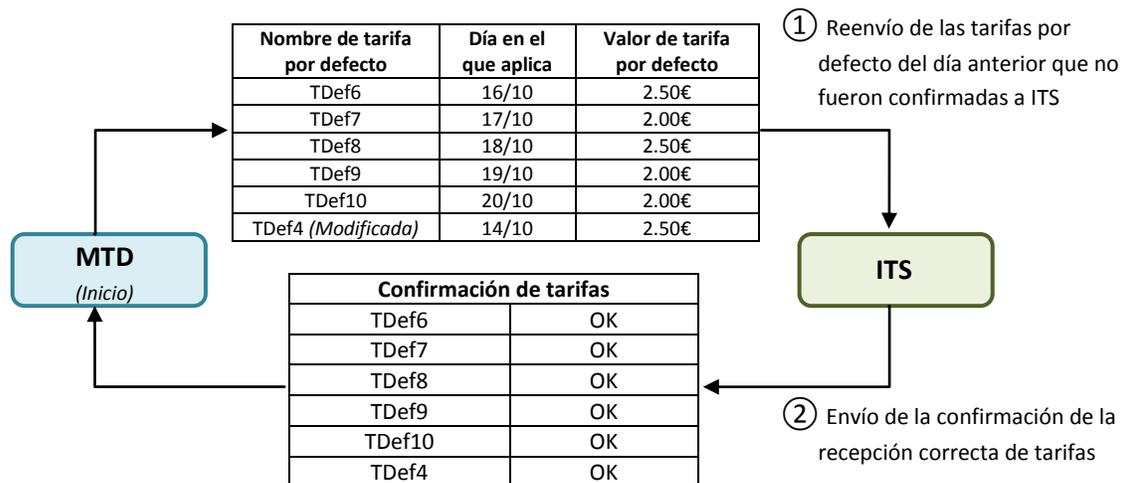


Ilustración 26. Ejemplo de proceso de envío de tarifas por defecto entre MTD e ITS (III)

▪ Envío de descuentos desde MTD a ITS

Como ya se explicó anteriormente, MTD actúa de intermediario para hacer llegar los descuentos desde el Back Office hasta los paneles de ITS.

El tarifador enviará los descuentos a ITS a partir de un proceso almacenado en base de datos, que se ejecutará periódicamente dependiendo de la planificación establecida para esta tarea.

Una vez recibidos los descuentos, ITS enviará un asentimiento a MTD y los descuentos que hayan intervenido cambiarán su estado para tener constancia de su envío (serán marcados como *Enviado a ITS*). En caso contrario, los mismos descuentos se volverán a reenviar en las siguientes ejecuciones del proceso tantas veces como sea necesario hasta que MTD reciba correctamente una confirmación.

▪ **Estado de los paneles desde ITS a MTD**

MTD recogerá los datos de estado de los dispositivos que se encuentren en la vía, entre los que se encuentran los paneles. A parte del comportamiento normal de un panel, este puede encontrarse en distintos estados dependiendo del escenario en el que se encuentren.

Los casos de uso realizados para este módulo de la Interfaz con ITS son los que se enumeran a continuación:

Casos de uso – Módulo de Interfaz con ITS	
1.	Recepción y procesamiento de datos de los sensores
2.	Recepción y procesamiento de imágenes
3.	Recepción y procesamiento de video
4.	Comprobación de estados de paneles
5.	Envío de tarifas por defecto
6.	Recepción de confirmación de tarifas por defecto
7.	Envío de tarifas por dinámicas y programadas
8.	Recepción de confirmación de tarifas dinámicas y programadas
9.	Envío de descuentos a los paneles
10.	Recepción de confirmación de descuentos

Tabla 10. Casos de uso del Módulo de la Interfaz con ITS

## 5.1.9. Interfaz con Back Office

---

Cuando se genera una comunicación entre dos sistemas, es necesario tener la seguridad de que el proceso se ha ejecutado correctamente. Debido a esto es fundamental almacenar los mensajes y asentimientos de las comunicaciones con sistemas externos.

MTD se comunicará con ITS a nivel de paneles, indicando a cada uno de ellos la información que debe publicar, en cambio, la comunicación con el Back Office se realizará a nivel de pódico ya que se le indicará el precio que debe cobrar dependiendo de los pódicos por los que haya circulado en cada vehículo, independientemente del panel que haya atravesado un conductor hasta llegar a ese pódico. La relación entre segmentos, pódicos y paneles estará presente en todo momento en los procesos de la aplicación.

La comunicación con el Back Office será bidireccional:

- **Envío de descuentos desde el Back Office a MTD**

El sistema de tarificación recibirá del Back Office el valor y localización del descuento VAO, así como información de otros descuentos. Los descuentos se definirán en el Back Office para ser aplicados a los viajes realizados por los clientes en el peaje según sus características. Estos descuentos, en especial el descuento que corresponde a los carriles VAO, han de ser comunicados a ITS para ser publicados en los paneles informativos situados en la carretera junto a los importes de las tarifas. Dado que el Back Office no envía en ningún caso información a ITS (solo recibe), estos descuentos serán enviados a MTD para que sean adjuntados junto a las tarifas que el sistema tarificador envía a los paneles.

MTD solicitará al Back Office el envío de la información de los descuentos mediante la llamada a un procedimiento almacenado en su base de datos que se encarga de la transacción de la información. Los descuentos podrán ser tantos por ciento a descontar del importe del peaje o cantidades a descontar directamente del importe total. Otra característica de los descuentos es que podrán estar dirigidos a todos los carriles que atraviesan un pódico o a un carril específico, como es el caso del descuento del carril de alta ocupación (descuento VAO).

A continuación se muestra un ejemplo del procesamiento del envío de descuento descrito:

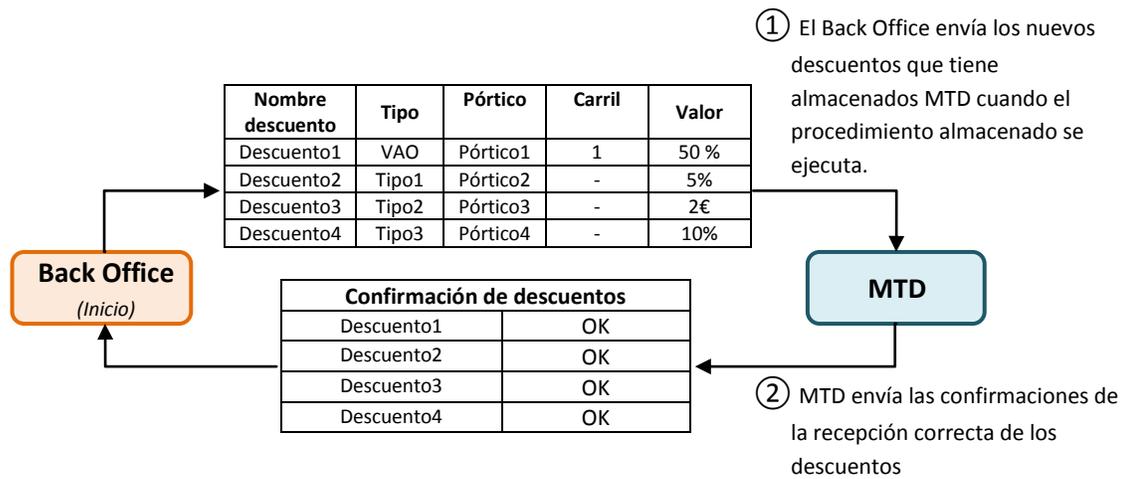


Ilustración 27. Envío de descuentos desde el Back Office a MTD

Una vez recibidos los descuentos correctamente, MTD enviará las confirmaciones al Back Office, finalizado así la comunicación entre los sistemas hasta la próxima ejecución del proceso. En caso de no recibir el asentimiento correctamente, el Back Office repetiría el envío hasta recibir la confirmación satisfactoriamente.

▪ **Envío de tarifas y estado de emergencia desde MTD al Back Office**

El envío de datos desde el tarificador al Back Office requiere una carga de información más elevada. El mayor volumen de información se debe al envío de las tarifas publicadas en los paneles. Tanto las tarifas calculadas dinámicamente como las programadas deben ser publicadas en los paneles antes de ser enviadas al Back Office para que se apliquen sus importes a las transacciones.

Las tarifas confirmadas por ITS se almacenan en la base de datos de MTD. Un proceso en este sistema se encargará de enviar periódicamente todas las tarifas confirmadas por los paneles y pendientes de envío hasta ese momento al Back Office. La planificación de la ejecución de este proceso puede definirse en la pantalla de configuración de procesos.

Como se indicó en la sección anterior (5.1.8 Interfaz con ITS) las publicaciones de las tarifas se confirman cuando estas cambian de valor y una nueva tarifa es mostrada en los paneles. Principalmente en periodos de poca actividad esto puede suponer un problema porque la misma

tarifa puede ser constante durante intervalos prolongados de tiempo, y el Back Office necesita recibir tarifas periódicamente para poder proceder a facturar los viajes. Por esta razón, mientras no se reciban cambios por parte de los paneles y no se recibe un estado de panel conflictivo, el módulo de tarificación creará confirmaciones automáticamente adjudicando el valor de la última tarifa comunicada a los paneles.

A continuación se muestra un ejemplo de la tabla de tarifas que se enviará al Back Office para el caso de que el importe de las tarifas no haya cambiado entre las 19:00h a las 20:00h de un día cualquiera. Este ejemplo es válido tanto para tarifas dinámicas como para programadas.

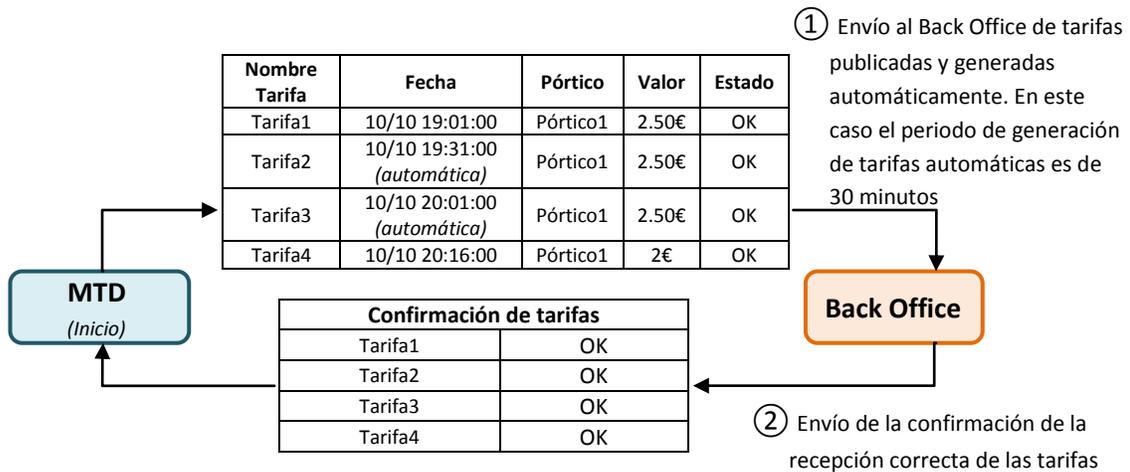


Ilustración 28. Envío de tarifas desde el MTD al Back Office

MTD permite modificar tarifas pasadas mediante la interfaz gráfica. Estas tarifas pueden haber sido enviadas previamente al Back Office, pero independientemente de esto, tras su modificación siempre deben ser enviadas al Back Office para que se aplique su nuevo valor. Una vez modificadas son automáticamente marcadas como *Pendientes de envío al Back Office* y son enviadas junto al resto de tarifas cuando el proceso de envío de tarifas es ejecutado.



Ilustración 29. Envío de tarifas modificadas al Back Office

El último conjunto de información que el sistema de tarificación debe enviar es la información de emergencia. En la carretera pueden darse situaciones de emergencia como accidentes, y esto debe ser comunicado al Back Office para que detenga la facturación para el segmento en el que esté sucediéndose el incidente.

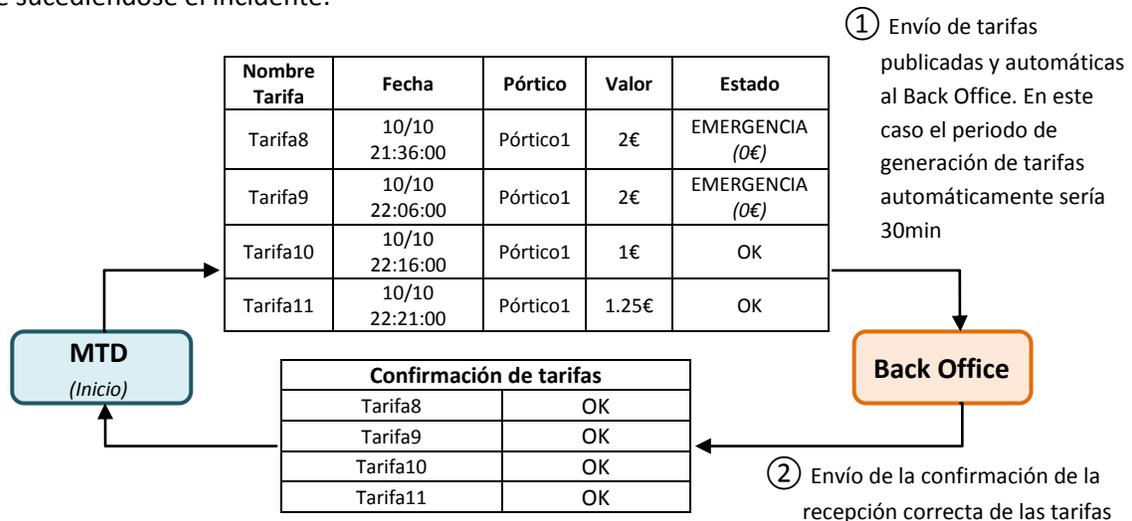


Ilustración 30. Envío de tarifas en estado de Emergencia

MTD enviará al Back Office toda la información de las tarifas mediante llamadas a procedimientos almacenados en base de datos. Una vez enviadas todas las tarifas (tanto las nuevas como las modificadas) MTD quedará a la espera de recibir el asentimiento por parte del Back Office y así poder cerrar la comunicación correctamente. En el caso de que la confirmación de la entrega de

tarifas no fuera satisfactoria, MTD procedería a reenviar esta información en las siguientes ejecuciones del proceso hasta que el asentimiento recibido fuese válido.

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

Casos de uso – Módulo de Interfaz con Back Office
1. Recepción y procesamiento de descuentos VAO y otros descuentos
2. Envío de tarifas publicadas y modificadas
3. Envío de datos de emergencia
4. Recepción y comprobación de asentimientos

Tabla 11. Casos de uso del Módulo de Interfaz con el Back Office

## 5.1.10. Interfaz con Websites

---

La interfaz entre el sistema de tarificación y los Websites se basa en compartir la información de las tarifas mostradas en los paneles para hacerlas públicas en internet y que sean accesibles a los clientes. También se compartirán con los sitios web las tarifas por defecto que se aplicarán en el futuro y los descuentos que recibe se reciben del Back Office.

Las tarifas enviadas son las mismas que las enviadas al Back Office, pero los procesos de envío son independientes y no guardan relación entre ellos.

MTD proporcionará la siguiente información a los Websites:

- Todas las tarifas que han sido publicadas y confirmadas por los paneles de ITS.
- Medias de las tarifas de cada hora durante el día anterior.
- Información de descuentos.

Para el caso de este sistema, MTD publicará las tarifas a través de unos servicios web que serán invocados por los Websites para recoger la información requerida.

Los casos de uso que definen las funcionalidades de este módulo son los siguientes:

<b>Casos de uso – Módulo de Interfaz con Websites</b>
1. Envío de tarifas publicadas
2. Envío de medias de tarifas diarias
3. Envío de descuentos

Tabla 12. Casos de uso del Módulo de la Interfaz con los Websites

## 6. Algoritmo de Tarificación Dinámica ATD

---

El propósito de esta sección es describir el funcionamiento y las especificaciones del software que se usará en la implementación del cálculo dinámico de tarifas para este peaje. Para realizar dicho cálculo se utilizará un algoritmo de tarificación dinámica (ATD) alojado en el módulo de tarificación del sistema de gestión del peaje.

El sistema de tarificación será el responsable de la comunicación a tiempo real con el resto de sistemas de los que hace uso el algoritmo, de donde obtendrá los datos de entrada y a los que proporcionará las tarifas obtenidas, como ya se ha estudiado anteriormente en las distintas interfaces entre sistemas. ATD está diseñado de manera simple proporcionando flexibilidad en el software y permitiendo afrontar en un futuro nuevas herramientas y objetivos operacionales.

### 6.1. Background

---

Cada peaje consiste en una red de carriles gestionados por una concesionaria (ya sea de gestión pública o privada) y por carriles adicionales de uso gratuito, los carriles de propósito general.

Un vehículo que circule por los carriles gestionados del peaje siempre accederá a una dirección de un segmento a través de un pórtico como el descrito en la sección *3.Tele-peaje Free Flow*.

El pórtico es una puerta virtual que los vehículos pueden atravesar sin disminuir la velocidad. Cada uno de ellos da servicio a una dirección de un segmento concreto. Un vehículo no puede entrar en una vía gestionada de peaje sin pasar por un pórtico. Esto significa que un vehículo que viaje por

una carretera de peaje de tres segmentos, atravesará como mínimo tres pódicos y se le cargarán tres peajes correspondientes a cada uno de ellos.

Los vehículos podrán estar equipados por transpondedores para ser detectados automáticamente por los pódicos (transacciones de TAG). Aquellos que no dispongan de este dispositivo serán identificados mediante reconocimiento de matrícula (transacciones simples mediante OCR). ATD no tiene en cuenta descuentos o cargos adicionales en las tarifas, ya que estos conceptos se tratan a nivel de viaje de un vehículo, y este algoritmo solo se encarga de establecer las tarifas para los distintos puntos de cobro.

A los vehículos se les cargará un peaje específico según cada pódico que atraviesen independientemente de por qué parte del segmento abandonen la carretera gestionada.

El peaje es el precio que el conductor deberá pagar y depende de los siguientes conceptos:

- El pódico de entrada a la dirección del segmento
- La clasificación de usuario según el tipo de vehículo que conduzca

En cualquier momento siempre existirán por cada pódico siete tipos de peajes, uno por cada *Clase de Vehículo*. Las distintas clases de usuarios son:

- Vehículos exentos (exento de peaje)
- Vehículo de alta ocupación (VAO)
- Vehículos convencionales y motocicletas
- Automóviles con remolque
- Camiones
- Camiones con remolque
- Otros

Los *Vehículos Exentos* estarán excluidos del cobro del peaje y los vehículos de tipo VAO (Vehículo de Alta Ocupación) estarán sujetos a horarios y carriles específicos. Antes de llegar a cada pódico habrá un panel que indicará el peaje aplicable a una o varias clases de usuario.

ATD es el encargado de calcular dinámicamente la tarifa base por kilómetro recorrido para cada dirección de cada segmento. Esta tarifa base se usará para obtener los distintos precios según la Clase de Vehículo. Por lo tanto, el precio que le costará al usuario viajar por un pórtico será:

$$\text{Peaje}_{\text{Pórtico } i} = \text{Tarifa Base}_{\text{Pórtico } i} * \text{Clase de Vehículo} * \text{Distancia} (\text{Pórtico}_i, \text{Pórtico}_{i+1})$$

Fórmula 1. Importe del peaje por pórtico

El algoritmo obtendrá la información de la longitud de cada tramo correspondiente a un pórtico así como el factor asignado a cada Clase de Vehículo, de los archivos (controladores) cargados previamente en el Módulo de Tarificación Dinámica a través de la GUI.

Los peajes de los pórticos están limitados bajo ciertos umbrales que no podrán sobrepasar. El algoritmo está sujeto a una serie de condiciones y restricciones como las siguientes:

- Las tarifas deben estar redondeadas al 0.05 más cercano
- Las tarifas publicadas deben permanecer constantes al menos durante cinco minutos
- La tarifa base por kilómetro recorrido no debe exceder el límite inferior ni el límite superior
- La media de velocidad de cada segmento no puede ser menor a 80km/h

## 6.2. Framework

---

El framework desarrollado para alojar la lógica del Algoritmo de Tarificación Dinámica está diseñado para ser flexible y proporcionar las herramientas necesarias para la implementación del algoritmo. Este marco de trabajo puede ser visto como un conjunto de recursos en donde se puede alojar y conectar las distintas funciones que forman la lógica del algoritmo.

En ningún caso el framework podrá proporcionar tarifas por sí solo. Por lo tanto, ATD constará de una parte de código que implementará el entorno y otra parte de código que implementará el algoritmo de cálculo de tarifas.

### ❖ **Iniciación del algoritmo**

El host de ATD, el módulo de tarificación MTD, solicitará de forma periódica (cada minuto) un conjunto de tarifas que corresponderán a cada uno de los pórticos que compongan el peaje.

Antes de calcular las tarifas finales existe una serie de procedimientos para iniciar el algoritmo:

1. MTD agrupa el conjunto de datos a tiempo real que corresponden a los sensores MVD de velocidad y volumen principalmente.
2. MTD invoca al ATD para que calcule las tarifas que deberán publicar los paneles de ITS, y para ello pondrá a su disposición los datos recogidos en el paso anterior.
3. Una tarifa no puede variar su valor antes de haber transcurrido cinco minutos desde su inicio. No existirán tarifas que sean efectivas durante periodos menores a cinco minutos. Por lo tanto antes de ejecutar la lógica del algoritmo, el módulo determinará si el minuto actual corresponde a un momento adecuado para actualizar el valor de cada tarifa.
  - a. En caso de que no haya transcurrido el periodo mínimo para el cálculo de una nueva tarifa (por cada pórtico), ATD comunicará automáticamente a MTD la última tarifa calculada.
  - b. En caso contrario, ATD se valdrá de la información recogida de la carretera en tiempo real para calcular un nuevo conjunto de tarifas base.

El framework de ATD estará formado por las herramientas necesarias para llevar a cabo esta iniciación.

### ❖ **Controladores**

Los controladores del peaje son los archivos de configuración del algoritmo. Estos controladores contendrán una serie de parámetros y condiciones que guiarán al algoritmo y harán que su comportamiento actúe de una u otra forma.

Cada dirección de cada segmento podrá tener una configuración distinta y, por ende, un controlador diferente. Estos controladores junto al contexto en tiempo real del estado de la vía proporcionan las entradas del algoritmo y son esenciales para el cálculo de tarifas.

Los distintos indicadores que se encuentran en los controladores proporcionan al algoritmo las directrices que deberá tomar en distintas situaciones. El framework gestionará y traducirá la información de estos archivos para convertirlos en información válida para la obtención de tarifas.

Los controladores consisten en archivos XML que serán generados por analistas de tráfico que podrán diseñarlos de tal manera que cubra las necesidades del algoritmo según el criterio de la concesionaria que gestiona la carretera.

Entre las distintas funciones que aportan los controladores, están la de definir ajustes en las tarifas básicas que se usarán como base para el cálculo de la tarifa final de los distintos pórticos del peaje. Estos ajustes se basan en unas tarifas programadas por horas o periodos de tiempo ajustables por el analista diseñador del controlador. Complementando a estas tarifas se encuentran los límites que podrán alcanzar estas tarifas tras el cálculo del algoritmo, y los posibles factores por los que podrá aumentar o disminuir una tarifa dependiendo de cada situación.

Los ajustes de las tarifas se aplicarán dependiendo del tiempo ahorrado entre circular por un carril gestionado con respecto a otro de propósito general.

Las restricciones de los controladores se usan para limitar los posibles cambios bruscos o por el contrario diferencias insignificantes entre tarifas consecutivas. Se podrá forzar una tarifa a un máximo o a un mínimo si la situación así lo requiere.

Durante el cálculo de tarifas, estos ajustes seguirán el procedimiento siguiente:

1. La tarifa básica para el minuto actual se obtiene del programa de tarifas básicas que proporciona el controlador para cada pórtico.
2. Cálculo de la tarifa sugerida por el algoritmo habiendo obtenido como entradas la tarifa del paso 1, los ajustes y las condiciones de la carretera en tiempo real.
3. Aplicación a la tarifa calculada las restricciones que proporciona el controlador (si aplica) para obtener la tarifa final.

Los controladores también contienen información sobre las características de los dispositivos de la carretera, como la distancia que separa sensores consecutivos, o su relación con respecto al pórtico al que corresponden y su situación con respecto a un carril gestionado o a un carril de

propósito general. Esta configuración raramente cambiará, al contrario que el resto de ajustes que proporciona un controlador.

#### ❖ **Recolección de información de la carretera**

Los controladores trabajan conjuntamente con las medidas de los sensores sobre las condiciones de la carretera. ATD funcionará utilizando el conjunto de datos de la vía junto a los controladores específicos para una determinada fecha y una determinada hora.

El módulo de tarificación dinámica mantendrá un reloj y el algoritmo trabajará alineado a los minutos de dicho reloj. Las medidas recibidas cada minuto se utilizarán para el cálculo de las tarifas que corresponderán al minuto posterior.

El framework del Algoritmo de Tarificación Dinámica gestionará los datos recibidos sobre las condiciones de la carretera en el minuto anterior a la recepción, entre los que se encuentran los siguientes:

- Media de velocidad por segmento de los diez minutos anteriores
- Media de volumen de tráfico por segmento de los diez minutos anteriores
- Media de velocidad por pórtico del minuto anterior
- Media de volumen por pórtico de tráfico del minuto anterior
- Tarifa asignada por cada pórtico en el minuto anterior
- Información que indica si la velocidad estuvo por debajo de la media exigida durante un periodo de tiempo de diez minutos, que es la ventana de tiempo permitida antes de penalizar los importes del peaje por proporcionar una velocidad menor a 80km/h.

El módulo de tarificación está preparado para recibir más información de la carretera aparte de velocidad y ocupación, aunque esta información no se use actualmente en el comportamiento del algoritmo. El algoritmo está diseñado para soportar posibles mejoras, como podrían ser el uso de datos meteorológicos o de incidentes.

En definitiva, el framework diseñado para este Algoritmo de Tarificación Dinámica tendrá la habilidad de combinar e implementar las siguientes herramientas:

- Programación de tarifas básicas

- Factores de ajuste de incremento y disminución de tarifas según el tiempo ahorrado
- Restricciones de tarifas finales
- Gestión de las condiciones en tiempo real del estado de la carretera

### 6.3. Lógica del algoritmo

---

Esta sección presenta el Algoritmo de Tarificación Dinámica basado en el cálculo del tiempo ahorrado de un conductor por circular por los carriles gestionados en vez de la carretera con carriles de propósito general.

MTD hará una llamada al algoritmo cada minuto para obtener un nuevo conjunto de tarifas que contendrá la siguiente información:

- Minuto de publicación en los paneles: Este minuto indicará el momento en el que empieza a aplicar una tarifa y el momento en que los paneles deberán mostrarla.
- Set de tarifas actualizadas por segmento: Este conjunto de tarifas contendrá una tarifa base por cada segmento y dirección, sin tener en cuenta la clase de vehículo.
- Set de tarifas por pórtico: Este conjunto de tarifas contendrá una tarifa base por cada pórtico de cada segmento y dirección, y por cada clase de vehículo, que serán los importes que se cargarán a los vehículos que circulen por los carriles gestionados en ese momento.

Dependiendo del estado de la carretera, el algoritmo puede trabajar en diversos modos de funcionamiento. Para cada dirección de cada segmento, y más específicamente para cada pórtico, ATD podrá usar dos modos de funcionamiento:

- Modo Normal
- Modo Obligatorio

El modo **Normal** se usa cuando las condiciones de tráfico de los carriles gestionados de cada tramo de carretera cubierto por un pórtico, se encuentran bajo un nivel de servicio adecuado y que no infringe las restricciones de velocidad y ocupación.

Solo es posible superar la cantidad máxima de una tarifa establecida para el modo Normal en el controlador cuando se trabaja bajo el modo **Obligatorio**. El algoritmo solo podrá operar en este

modo bajo unas condiciones de tráfico específicas. Cuando ATD calcula una tarifa que resulta estar encima del umbral, este comprueba que las condiciones de circulación no se estén incumpliendo. En caso de ser así, entrará en modo Obligatorio, y en caso contrario, devolverá el valor máximo.

### 6.3.1. Modo Normal

En circunstancias normales el algoritmo de tarificación dinámica operará bajo el modo Normal, basado en el tiempo ahorrado por circular por el peaje. Este tiempo dependerá de las condiciones medidas por los sensores, pero también de las tarifas bases, ajustes y restricciones como ya se describió anteriormente.

Las entradas básicas del algoritmo son las siguientes:

Factores de entrada	Descripción
<b>Fecha/Hora Inicial</b>	Fecha y hora en la que se reciben las medidas y se calculará la siguiente tarifa
<b>Tarifa Básica</b>	Tarifa establecida en los controladores como referencia para la fecha y hora actuales.
<b>Tarifa Máxima</b>	Proporciona el importe máximo final que se puede aplicar a cada transacción
<b>Tarifa Mínima</b>	Proporciona el importe mínimo final que se puede aplicar a cada transacción
<b>Factor de reducción</b>	El factor por el que una tarifa se verá reducida por cada minuto ahorrado que se mantenga fuera del límite inferior previsto
<b>Factor de incremento</b>	El factor por el que una tarifa se verá incrementada por cada minuto ahorrado que supere el tiempo límite superior establecido
<b>Tiempo mínimo ahorrado esperado</b>	Límite inferior de tiempo ahorrado establecido. La tarifa no se reducirá hasta que el tiempo ahorrado esté por debajo de este valor
<b>Tiempo máximo ahorrado esperado</b>	Límite superior de tiempo ahorrado establecido. La tarifa no se incrementará hasta que el tiempo ahorrado esté por encima de este valor

Tabla 13. Factores de entrada al algoritmo

A continuación se muestra un ejemplo del comportamiento de estos factores para un pórtico y para un minuto cualquiera, considerando los siguientes valores de ajuste de tarifa base del pórtico en cuestión:

Factores de entrada	Valor
Tarifa Básica programada para el minuto actual	1.50 €
Tarifa Máxima	3.00 €
Tarifa Mínima	0.50 €
Factor de reducción	0.25 €/minuto
Factor de incremento	1.00 €/minuto
Tiempo mínimo ahorrado esperado	6 minutos
Tiempo máximo ahorrado esperado	9 minutos

Tabla 14. Ejemplo de factores de entrada

Según los valores del ejemplo anterior se obtiene una función donde se muestran las tarifas en función del tiempo ahorrado:

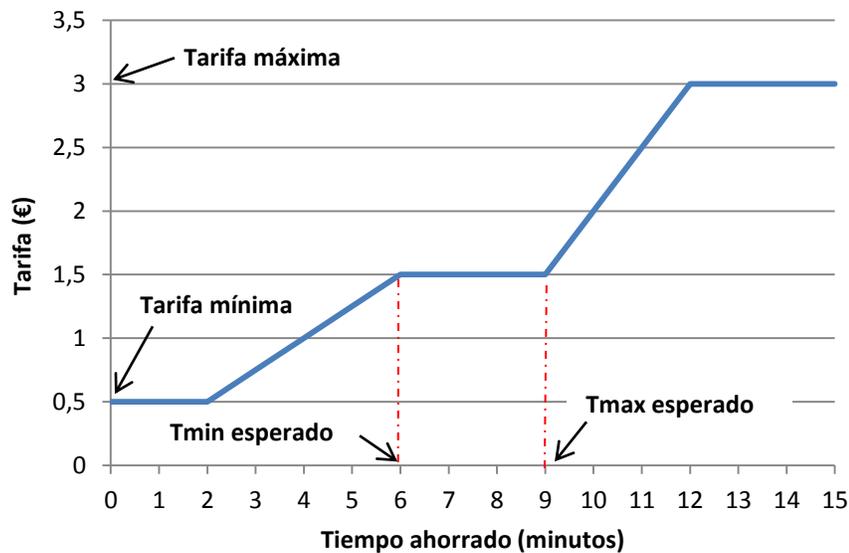


Ilustración 31. Tarifas con respecto al tiempo ahorrado

La gráfica muestra como la tarifa básica no se modificará mientras el tiempo ahorrado se encuentre dentro de los límites (de seis a nueve minutos). Este tiempo se obtendrá a través de una serie de cálculos que llevará a cabo el algoritmo a partir de las medidas de los sensores de la carretera.

El principal objetivo que persigue la lógica del algoritmo es el cálculo de una tarifa base para cada pódico perteneciente a cada dirección de cada segmento.

Existen dos posibles configuraciones para la obtención de la tarifa, una basada en las direcciones de los segmentos, y otra basada exclusivamente en cada pódico y calculada individualmente para

cada uno de ellos. En ambos casos la tarifa final que será cargada a los clientes dependerá de la clase de vehículo (vehículo ligero, automóvil con remolque, camión, etc.) y del tipo de transacción que se realice (con identificación por matrícula o con identificación por TAG).

La configuración basada en direcciones de segmento tiene como objetivo principal el cálculo de una única tarifa por segmento y dirección a partir de las medidas de todos los sensores de esa dirección independientemente de donde estén situados. Una vez calculada la tarifa base de cada dirección, se le aplicarán unos factores para ajustarlo a cada pórtico que esté contenido en ese tramo. Este factor consistirá en la asignación de un peso a cada pórtico dentro del segmento, y estará basado generalmente en la distancia recorrida a través del mismo. La tarifa final que será publicada  $P(v, g, d)$  en los paneles será:

$$P(v, g, d) = F(v) * W(p) * B(d)$$

Fórmula 2. Cálculo de tarifa con configuración por dirección de segmento

Donde  $F(v)$  es el factor que depende de la clase del vehículo  $v$ , y  $B(d)$  es la tarifa básica calculada para la dirección  $d$  del segmento, y  $W(p)$  corresponderá al peso asignado al pórtico  $p$ .

Con la configuración por pórticos se ejecutará el algoritmo basándose exclusivamente en el tramo cubierto por el paso de cada pórtico, y por lo tanto, en las medidas de los detectores que allí se encuentren. La tarifa publicada en los paneles  $P(v, g, d)$  para un vehículo  $v$  que circula a través de un pórtico  $p$  vendrá dada por:

$$P(v, p) = F(v) * B(p)$$

Fórmula 3. Cálculo de tarifa con configuración por pórtico

Donde  $F(v)$  es el factor de la clase del vehículo  $v$ , y  $B(p)$  es la tarifa base calculada para el pórtico  $p$ .

La configuración del cálculo por dirección de segmento o por pórtico se establecerá en los archivos de configuración (Controladores).

Los umbrales que puede alcanzar una tarifa solo podrán ser excedidos bajo ciertas condiciones en las que las restricciones de velocidad y volumen no se están cumpliendo, por lo que el precio del peaje sufrirá una penalización para adaptarlo a las condiciones adecuadas.

## 6.3.2. Modo Obligatorio

---

La media de velocidad de cada dirección y el tráfico debe estar siempre entre los límites establecidos por la concesión del peaje. Si durante un periodo de tiempo la velocidad se mantiene por debajo del mínimo acordado o las condiciones de volumen de tráfico sobrepasan los umbrales, el precio del peaje no estará limitado por los máximos y mínimos definidos en el controlador entrando en el modo Obligatorio.

### ➤ Penalización de aumento de tarifa

En el caso de que la velocidad disminuyera y que el volumen de tráfico creciera demasiado, el precio del peaje superará el límite establecido con el fin de disuadir a los conductores de los carriles gestionados y así cumplir las exigencias del peaje. En este caso las condiciones que deben darse en la carretera para incumplir las exigencias son:

- Las cinco menores medias de velocidad entre las últimas diez recibidas, deben ser menores a iguales a 80km/h.
- Las cinco mayores medias de volumen de tráfico entre las últimas diez recibidas, deben ser mayores a 3300 pce/h (en el caso de dos carriles gestionados) o 5100 pce/h (en el caso de tres carriles gestionados).

Bajo estas condiciones el algoritmo trabajará en el modo Obligatorio, donde se invalidan los umbrales establecidos en el controlador para el modo normal y las variaciones del precio del peaje se rigen por reglas distintas. Para este caso las tarifas se ajustarán cada cinco minutos de manera que:

$$\text{Tarifa Base}(t + 5\text{minutos}) = \text{Tarifa Base}(t) * (1 + \text{Factor de Demanda})$$

Fórmula 4. Cálculo de aumento de tarifa para el modo Obligatorio

Donde el Factor de Demanda es un tanto por ciento que se le aplicará a la tarifa dependiendo de la situación del tráfico con respecto a los límites establecidos, es decir, superando los 3300 pce/h (en el caso de dos carriles) o 5100 pce/h (en el caso de tres carriles) y con una velocidad menor a 80km/h.

Según el nivel de ocupación, el Factor de Demanda vendrá definido por los siguientes valores:

- Diferencia entre el volumen actual y el límite superior, mayor a 0 pce/h/carril → 5%

- Diferencia entre el volumen actual y el límite superior, mayor a 50 pce/h/carril → 10%
- Diferencia entre el volumen actual y el límite superior, mayor a 100 pce/h/carril → 15%
- Diferencia entre el volumen actual y el límite superior, mayor a 150 pce/h/carril → 20%
- Diferencia entre el volumen actual y el límite superior, mayor a 200 pce/h/carril → 25%

Y el Factor de Demanda en caso de que no se cumpla la velocidad mínima es el siguiente:

- Cinco menores medias de velocidad entre las últimas diez recibidas, menores o iguales a 80km/h → 25%

Solo será aplicable un único factor de demanda, teniendo en cuenta que la restricción de velocidad siempre prevalecerá al volumen de tráfico. Siguiendo estas directrices el valor de la nueva tarifa equivaldrá entre un 105% y un máximo de un 125% con respecto a la tarifa anterior.

➤ **Penalización de disminución de tarifa**

Las condiciones de la vía también pueden ser negativas, de tal manera que no se esté cubriendo el mínimo de circulación esperada. Cuando el algoritmo detecta esta situación, tendrá como finalidad reducir la tarifa establecida de tal manera que incentive a los clientes a usar el peaje. Las condiciones que deben darse en este caso son las siguientes:

- El volumen de tráfico debe ser:
  - Las cinco menores medias de volumen de tráfico entre las últimas diez recibidas, deben estar por debajo de los 2500 pce/h (en el caso de dos carriles)
  - Las cinco menores medias de volumen de tráfico entre las últimas diez recibidas, deben estar por debajo de los 4000 pce/h (en el caso de tres carriles)
- Las cinco menores medias de velocidad entre las últimas diez recibidas, deben ser mayores o iguales a 80km/h

En esta ocasión, la tarifa base se ajustará cada cinco minutos siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Tarifa Base}(t + 5\text{minutos}) = \text{Tarifa Base}(t) * (1 - \text{Factor de Demanda})$$

Fórmula 5. Cálculo de reducción de tarifa para el modo Obligatorio

Sin embargo, en esta ocasión el valor multiplicativo según el factor de demanda estará entre un 75% y un 95%. El algoritmo no aplicará estos ajustes a partir de una tarifa base resultante menor o igual a 0,75€, manteniendo este valor mínimo siempre que sea necesario.

Por lo tanto, el Factor de Demanda cuando no se alcance el volumen mínimo de tráfico establecido, es decir, 2500 pce/h (en el caso de dos carriles) o 4000 pce/h (en el caso de tres carriles), vendrá dado por:

- Si la diferencia entre el volumen actual y el límite inferior se encuentra entre 0 y 50 pce/h/carril → 5%
- Si la diferencia entre el volumen actual y el límite inferior se encuentra entre 50 y 100 pce/h/carril → 10%
- Si la diferencia entre el volumen actual y el límite inferior se encuentra entre 100 y 150 pce/h/carril → 15%
- Si la diferencia entre el volumen actual y el límite inferior se encuentra entre 150 y 200 pce/h/carril → 20%
- Si la diferencia entre el volumen actual y el límite inferior se encuentra entre 200 y 250 pce/h/carril → 25%

#### ➤ **Estabilización y salida del modo Obligatorio**

Una vez estabilizado el sistema y dentro de las condiciones adecuadas requeridas por el peaje, el modo Obligatorio seguirá funcionando, aunque manteniendo la tarifa constante, hasta que se cumpla alguna de estas premisas:

- El volumen de tráfico debe estar dentro de alguna de estas situaciones:
  - Las cinco mayores medias de volumen de tráfico entre las últimas diez recibidas deben estar entre 2500 pce/h y 3300 pce/h (en el caso de dos carriles)
  - Las cinco mayores medias de volumen de tráfico entre las últimas diez recibidas debe estar entre 4000 pce/h y 5100 pce/h (en el caso de dos tres carriles)
- Las cinco menores medias de velocidad entre las últimas diez recibidas deben ser mayores a 80km/h

Una vez estabilizado el sistema, el algoritmo saldrá del modo Obligatorio y continuará funcionando bajo el modo Normal.

A continuación se muestra gráficamente el funcionamiento del modo Obligatorio para el caso de dos carriles gestionados:

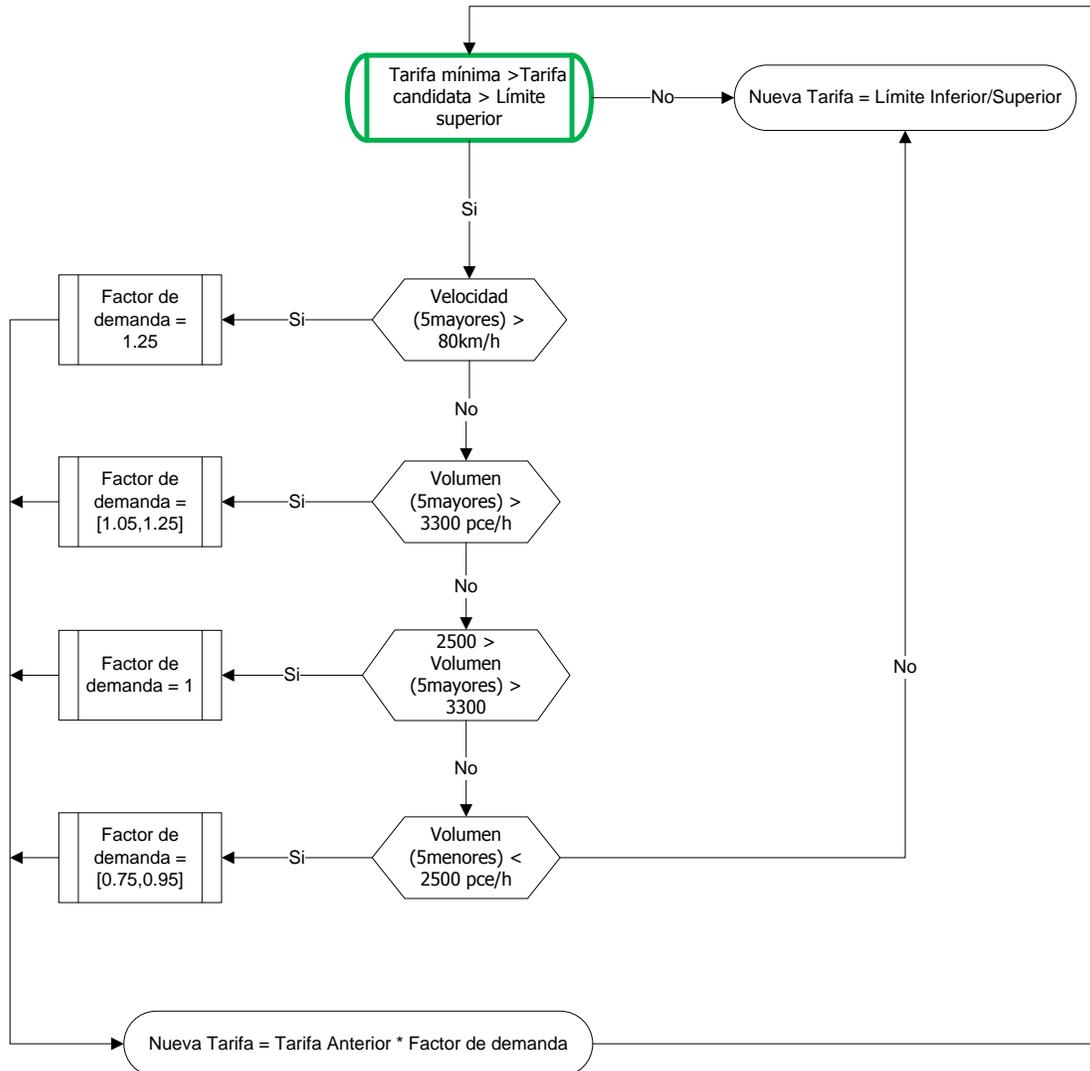


Ilustración 32. Modo Obligatorio (Dos carriles gestionados)

El valor que correspondería al factor de demanda con respecto al volumen de tráfico sería el mostrado en la siguiente tabla:

Valor mínimo del rango (pce/h)	Valor máximo del rango (pce/h)	Factor de demanda
2000	2100	0.75
2100	2200	0.80
2200	2300	0.85

Valor mínimo del rango (pce/h)	Valor máximo del rango (pce/h)	Factor de demanda
2300	2400	0.90
2400	2500	0.95
2500	3300	1
3300	3400	1.05
3400	3500	1.10
3500	3600	1.15
3600	3700	1.20
3700	3800	1.25

Tabla 15. Factor de demanda (Dos carriles gestionados)

Para el caso de tres carriles gestionados, el flujo sería el que se muestra a continuación:

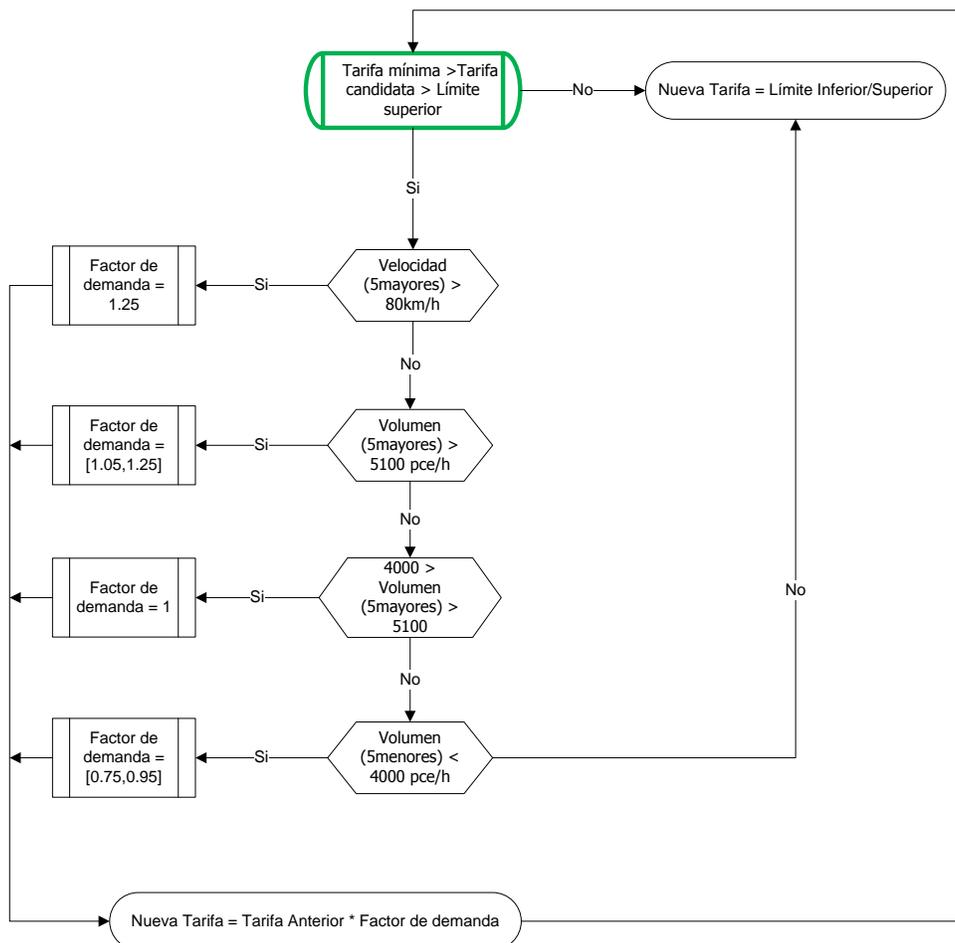


Ilustración 33. Modo Obligatorio (Tres carriles gestionados)

El valor que correspondería al factor de demanda con respecto al volumen de tráfico sería el mostrado en la siguiente tabla:

Valor mínimo del rango (pce/h)	Valor máximo del rango (pce/h)	Factor de demanda
3250	3400	0.75
3400	3550	0.80
3550	3700	0.85
3700	3850	0.90
3850	4000	0.95
4000	5100	1
5100	5250	1.05
5250	5400	1.10
5400	5550	1.15
5550	5700	1.20
5700	5850	1.25

Tabla 16. Factor de demanda (Tres carriles gestionados)

### 6.3.3. Flujo entre modos de funcionamiento

El siguiente diagrama muestra los pasos llevados a cabo para el cálculo de las nuevas tarifas por medio de los distintos modos de funcionamiento del algoritmo para cada pórtico:

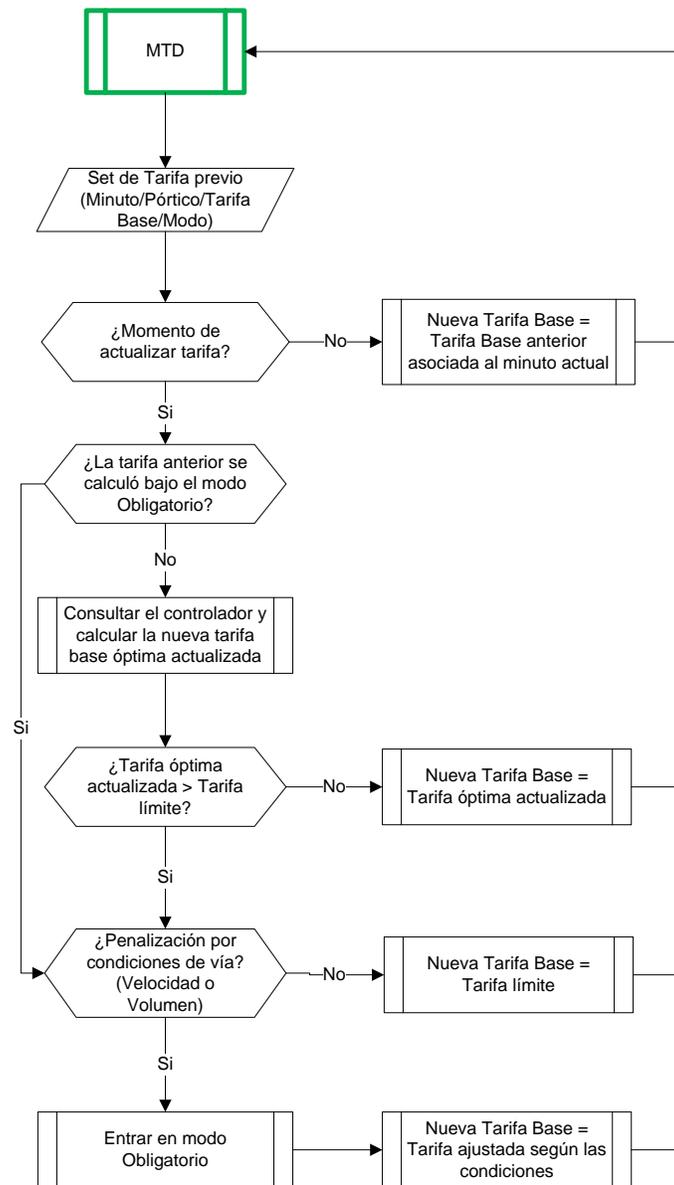


Ilustración 34. Flujo de modos del ATD

---

## 7. Plan de Pruebas

---

Todas estas funcionalidades del módulo de tarificación deben ser probadas en distintos entornos para verificar el correcto funcionamiento del sistema y validar si el sistema cumple con los requerimientos que contemplen el funcionamiento total del mismo.

En el plan de pruebas se diseñan los *test cases* (o casos de prueba) que deberán ejecutarse, así como los pasos a seguir en la ejecución de los mismos, junto con los resultados que se deberán obtener en cada uno de ellos con el fin de verificar las funciones y procesos de los distintos módulos del software. La fase de pruebas también es importante debido a que permite detectar posibles fallos o errores tanto de diseño del software como el desarrollo.

Las fases en las que se realizan las pruebas son:

1. Planificación: Inicialmente se identifican los requisitos para las pruebas. Se define una estrategia y se identifican los recursos necesarios para realizarlas.
2. Diseño: En esta fase se diseñan los casos de prueba que se van a ejecutar, teniendo en cuenta que los casos de prueba tienen que cubrir que todos los requisitos, definidos durante la toma de requisitos y el diseño.
3. Implementación: Antes de comenzar con la ejecución, se establece un entorno de pruebas, donde se desarrollan las clases, componentes y datos de prueba.
4. Ejecución: Se ejecutan los pasos previamente definidos paso a paso y se verifican los resultados poniendo especial atención en los resultados no esperados y registrando los defectos.
5. Registro y resolución de incidencias: durante la ejecución de los casos de pruebas se registran las incidencias para ser corregidas por el equipo de desarrollo. El equipo de

desarrollo corregirá las incidencias detectadas durante este periodo y se generarán nuevas versiones del software.

6. Evaluación: Se lleva a cabo un análisis de los defectos y se determina si se han alcanzado los criterios de las pruebas.

Todas estas fases deben ir unidas a sus respectivos informes de diseño, desarrollo y evaluación de pruebas. Una vez ejecutadas las pruebas, las incidencias resultantes deben ser resueltas, y todas las pruebas son ejecutadas y evaluadas de nuevo para comprobar definitivamente el correcto funcionamiento del sistema. En caso de que nuevas incidencias sean detectadas, este procedimiento será repetido tantas veces como sea necesario.

Existen varias herramientas para elaborar planes de pruebas pero, en este caso, las pruebas fueron diseñadas mediante el programa TestLink. El TestLink es una plataforma que ofrece apoyo para elaborar planes de prueba y permite definir los casos de pruebas detalladamente ofreciendo diversas opciones que se adaptan a todas las fases del plan. Entre las principales características:

- Definir casos de prueba
- Organización de los casos de prueba
- Elaborar documentación del plan de pruebas
- Elaborar informes y estadísticas

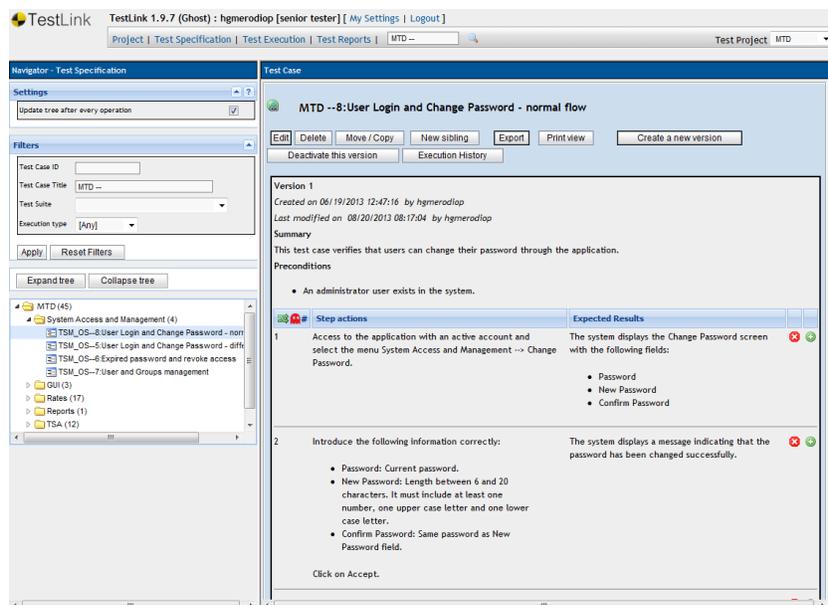


Ilustración 35. TestLink

A continuación se detallarán los diferentes planes de pruebas elaborados para este proyecto.

## 7.1. Test Unitarios

---

Los test unitarios consisten en una verificación del software y en un método de validación en el que un programador prueba si las unidades individuales de código fuente son aptas para su uso. Una unidad es la parte más pequeña comprobable de una aplicación, función o procedimiento individual.

Estas pruebas aseguran que cada uno de los módulos funcione correctamente por separado y se llevan a cabo por el equipo de desarrollo.

## 7.2. Pruebas de Integración

---

Las pruebas de integración verifican la integración de todos los módulos de MTD, y la comunicación con los sistemas externos. Para este plan de pruebas se debe contemplar que los módulos soportan la información que proviene de otros sistemas y los contenidos de los mensajes que se transmiten entre ellos, así como que las salidas de MTD sean entradas válidas para otros sistemas externos.

Esta fase de pruebas tiene como objetivo revisar los requisitos funcionales y técnicos del proyecto en un entorno controlado.

Durante la ejecución de las pruebas de integración, se preparan ejemplos de los datos de prueba siempre que sea posible y se considere necesario. Estos ejemplos de datos de prueba estarán asociados a *test cases* específicos, para que sea más fácil comprobar la correcta ejecución de los casos de prueba.

Para este trabajo que ha diseñado un total 515 pruebas de integración que validan las funcionalidades de todas las partes del Módulo de Tarificación Dinámica. Durante la primera ejecución de las pruebas fueron detectadas 110 incidencias. Estos fallos fueron resueltos de tal

forma que el resultado de la segunda ejecución de pruebas fue satisfactorio y se cumplieron todos los requerimientos.

### 7.3. Pruebas On-Site

---

El propósito de estas pruebas es verificar el funcionamiento de la aplicación en un entorno de producción, donde todos los sistemas involucrados en el peaje estarán en funcionamiento. También tiene como objetivo que el cliente pueda verificar el correcto funcionamiento del software que se ejecuta sobre la plataforma de hardware y software instalado donde se alojará definitivamente. Este plan de pruebas asegura que el proyecto está preparado para iniciar su puesta en operación.

Las pruebas de integración *in situ* se realizarán en las instalaciones de la concesionaria, después de la instalación del software y del hardware.

La ejecución de estas pruebas se centra en todos los aspectos relacionados con la interrelación existente entre el usuario y el sistema, así como en la parte técnica y el equipo. El usuario evaluará la facilidad de uso de la interfaz del sistema, basándose en ejemplos de situaciones lo más cercanas posibles a la realidad, por lo que las entidades externas (Back Office, ITS y Websites) también deben estar disponibles.

Estas pruebas se realizarán con vehículos circulando tanto por los carriles gestionados como por los carriles de propósito general, recibiendo información instantánea de la vía y publicando las tarifas en los paneles. El número y clase de vehículos que deben atravesar los pódicos en cada caso se refleja en las pruebas junto al resto de datos de prueba necesarios.

Para este caso se han diseñado 48 pruebas, un número de pruebas considerablemente menor que la cantidad de test definidos para el plan de pruebas de integración. Esta diferencia se debe a que en el plan de integración las pruebas corresponden a pequeños test que validan funciones concretas, y el plan de pruebas de On-Site se trata de pruebas largas que verifican grandes flujos de datos con acciones no tan exhaustivamente detalladas.

## 7.4. Pruebas de Rendimiento

---

Los requisitos que se definen en la primera fase del proyecto no tratan solo de funcionalidades del sistema, sino que también se acuerdan los requerimientos de rendimiento que debe respetar la aplicación.

Las pruebas de rendimiento están destinadas a analizar las características anteriores y el potencial del sistema de tarificación junto con su interfaz como, por ejemplo, tiempos de respuesta de la aplicación dependiendo del tipo de información que se muestre, el tiempo máximo de envío de información, el tiempo máximo para el cálculo de tarifas, o que con el máximo de usuarios conectados a la aplicación simultáneamente no se produce una degradación del rendimiento del sistema.

## 8. Conclusiones

---

El objetivo de este proyecto ha sido desarrollar un sistema que permitiese tarificar dinámicamente proporcionando precios de tarifas dinámicas para los carriles administrados de un tele-peaje Free Flow en tiempo real, en función de la ocupación y de la velocidad del tráfico.

El estudio previo del estado de los peajes muestra como la evolución de la tecnología e infraestructuras permite cada vez más adaptar los servicios para proporcionar comodidad a los conductores.

Los avances en los sistemas de peaje, así como en la gestión del tráfico y los sistemas de detección de las condiciones viales, han supuesto un incremento importante de opciones disponibles en términos de tarificación. La tarificación dinámica conlleva una sofisticada gestión debido a la multitud de características que tiene que asegurar y controlar.

El Algoritmo de Tarificación Dinámica usado en este caso cubre las necesidades básicas del sistema, dejando abierto un amplio abanico de desafíos y oportunidades a implementar como mejoras. Información sobre incidentes o las condiciones meteorológicas son datos que conllevan un peso importante en el estado de las carreteras y que podrían incluirse en trabajos futuros de posibles ampliaciones del ATD.

Los planes de pruebas desarrollados han permitido no solo validar las características del sistema, sino que han permitido detectar las debilidades de la aplicación. Por ejemplo, el problema que surge ante el importe a cobrar a cada transacción de vehículos, ya que el valor de la tarifa mostrado y vista por un conductor puede no ser la misma que la que se le asignará a su paso por el pórtico, dado que una tarifa puede cambiar en el periodo de tiempo que pasa entre el paso de un vehículo ante un panel y su correspondiente pórtico. Aún así, tanto la aplicación de MTD y la

del Back Office están preparadas para adaptar los sistemas de tal manera que sean capaces de afrontar este tipo de inconvenientes.

Después del estudio de este tipo de peajes, de definir los casos de uso y tras la ejecución de las pruebas, se ha obtenido un sistema estable y preparado para su puesta en marcha en los próximos meses.

# Presupuesto

---

❖	<b>Ejecución Material</b>	
✓	Renting de un PC (Software incluido) 50*12 .....	600 €
	(Licencias software incluidas)	
✓	Material de oficina .....	150 €
✓	Total de ejecución material .....	850 €
❖	<b>Gastos generales</b>	
✓	16 % sobre Ejecución Material.....	136 €
❖	<b>Beneficio Industrial</b>	
✓	6 % sobre Ejecución Material.....	51 €
❖	<b>Honorarios Proyecto</b>	
✓	1928 horas a 15 €/hora.....	28.920 €
❖	<b>Material fungible</b>	
✓	Gastos de impresión .....	60 €
✓	Encuadernación .....	250 €
❖	<b>Subtotal del presupuesto</b>	
✓	Subtotal Presupuesto.....	30.267 €

❖	<b>I.V.A. aplicable</b>	
✓	21% Subtotal Presupuesto.....	6.356,07 €
❖	<b>Total presupuesto</b>	
✓	<b>Total Presupuesto.....</b>	<b>36.623,07 €</b>

Madrid, Septiembre de 2013

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Henar Gómez de Merodio Perea

Ingeniero Superior de Telecomunicación

# Glosario

---

<b>ATD</b>	Algoritmo de Tarificación Dinámica
<b>DOT</b>	Department of Transportation
<b>DSRC</b>	Dedicated Short Range Communications
<b>ETL</b>	Extract-Transform-Load
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>GSM</b>	Global System for Mobile
<b>GUI</b>	Graphical User Interface
<b>IAD</b>	Integral Amplitude Distribution
<b>ID</b>	Identificador
<b>ITS</b>	Intelligent Transportation System
<b>JPEG</b>	Joint Photographic Experts Group
<b>MTD</b>	Módulo de Tarificación Dinámica
<b>MVD</b>	Microwave Vehicle Detector
<b>OBU</b>	On Board Unit
<b>OCR</b>	Optical Character Recognition
<b>PCE</b>	Passenger car equivalent
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification Device
<b>RTSP</b>	Real Time Streaming Protocol
<b>SIT</b>	Sistema Inteligente de Transporte
<b>SNMP</b>	Simple Network Management Protocol
<b>SQL</b>	Structured Query Language
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>VAO</b>	Vehículo de Alta Ocupación
<b>XML</b>	Extensible Markup Language

---

# Referencias

---

- [1] "Washington State Comprehensive Tolling Study", IBI Group, August 2007
- [2] "Managed Lanes, A Cross-Cutting Study", U.S. Department of Transportation, November 2004
- [3] "Back Office Solutions", Indra Sistemas, December 2008 (not published)
- [4] "Toll Collection System", Indra Sistemas, Mayo 2008 (not published)
- [5] "U.S. Market Analysis", Indra Sistemas, Mayo 2009 (not published)
- [6] "Dynamic Pricing Model", Indra Sistemas, Enero 2012 (not published)
- [7] "Requirements Traceability Matrix", Indra Sistemas, Enero 2012 (not published)
- [8] "Software Requirements Specification", Indra Sistemas, Enero 2012 (not published)
- [9] "Regulation (EC) No 219/2009 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the interoperability of electronic road toll systems in the Community", European Commission, April 2004
- [10] "Delivering the Future of Transportation - The National Intelligent Transportation Systems Program Plan: A Ten-Year Vision", ITS America, January 2002
- [11] C. Hughes, "ETC Market Status, Strategy Analytics", 2003
- [12] "Intelligent Vehicle Trial, Report to the Department of Infrastructure, Energy and Resources", Highway Technologies Australia, 1999
- [13] B. Jones and R. Resendes, "Vehicle Infrastructure Integration Initiative", ITS Joint Program Office, U.S. Department of Transport, 2006
- [14] "Análisis de los carriles administrados de la autopista Katy", Katy Freeway and Managed Lanes, 2009
- [15] Harvey J. Miller and Shih-Lung Shaw, "Geographic Information Systems for Transportation", Oxford University Press, 2001
- [16] Jerry Landt, "Shrouds of Time: The history of RFID", AIM Inc., 2006
- [17] Real Time Streaming Protocol (RTSP), IETF, 1998
- [18] K. Button, "Transport Economics", 2010

- [19] J. W. Konings, H. Priemus and Peter Nijkamp, "The Future of Intermodal Freight Transport: Operations, Design and Policy", 2008
- [20] Roger Stough, "Transport and Information Systems", 2003
- [21] E. Armstrong, J. Ball, S. Bodoff, D. B. Carson, I. Evans, D. Green, K. Haase and E. Jendrock, "The J2EE™ 1.4 Tutorial", 2005
- [22] B. Eckel, "Piensa en Java", 2002
- [23] C. S. Horstmann and Gary Cornell, "Core Java 2, Volume I Fundamentals", 2003

# Pliego de Condiciones

---

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un Módulo de Tarificación Dinámica en un Sistema de Gestión de Tele-peaje. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

## Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partidaalzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad “Presupuesto de Ejecución de Contrata” y anteriormente llamado “Presupuesto de Ejecución Material” que hoy designa otro concepto.

## Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.