

1. Planificación general del transporte

1.1. Introducción

En el presente tema se estudiarán los elementos principales que componen un sistema de planificación de líneas. Dichos elementos permiten desarrollar y gestionar la infraestructura básica para la gestión del servicio. Los dos componentes principales son:

- Planificación del trazado de líneas: consiste en la estrategia, diseño y modelación del recorrido sobre el que se realizará la prestación del servicio de transportes, para ello, se analizarán conceptos elementales, entidades y su relación con el territorio. También se explicará como realizar un modelo conceptual para la creación de un GIS (Geographical Information System), a continuación se analizarán los principales estándares de gestión de la información de transporte público disponibles en el mundo y por último se realizará un recorrido por las distintas herramientas de gestión existentes en el mercado.
- Diseño del horario del servicio. El objetivo es el conocimiento conceptual del modelado de horarios de servicio con el fin de conseguir el cumplimiento de una oferta de servicio, se estudiará la relación entre la dotación de buses y la frecuencia a obtener y el análisis de costes asociado a un cuadro horario.

1.2. Objetivos de la planificación general

1.2.1. Sección primera: la planificación del trazado de líneas

Conceptos Elementales. Elementos Geográficos

Un elemento geográfico o geoelemento es una entidad proyectiva que puede ser representada sobre la superficie de un mapa con una ubicación exacta. Todos los sistemas proyectivos tienen como objetivo solucionar la transformación del planeta, de forma geoide-elipsoide,

en una forma plana en la que poder representar dichos geoelementos con la máxima eficacia.

Un sistema de referencia geodésica es un método que permite la ubicación y la medición de geoelementos en un plano realizado a través de un sistema proyectivo a partir de una referencia, entre otros, merece la pena mencionar los siguientes:

WGS84 (World Geodetic System 84). Permite localizar cualquier punto del planeta sin necesidad de otro de referencia con una gran precisión. Está basado en el elipsoide del mismo nombre. Sus puntos de referencia son el Meridiano de Greenwich, el Ecuador y los polos. Actualmente lo utilizan los GPS.

ED50 (European Datum 1950 -actualmente sigue la transformación a ETRS89).- Es la unidad que se emplea comúnmente en la península española, basada en el elipsoide de Hayford y cuyo punto de referencia es PostDam, Alemania.

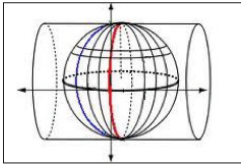
Modelos de proyección geográfica: UTM

Entre las distintas proyecciones geográficas que pueden utilizarse para la representación de la superficie terrestre, la más universalizada es la representación UTM (Universal Transversa Mercator). Esta representación toma como base un cilindro proyectivo tangencial al elipsoide en el ecuador, componiendo la cuadrícula sobre dicho cilindro

Coordenadas

El concepto lógico de coordenada como un punto exacto en el que coinciden dos líneas perpendiculares es utilizado en cartografía para todos los sistemas proyectivos. Conceptualmente, el sistema proyectivo parte de dos desplazamientos relativos para establecer la medición, a partir de los cuales pueden representarse las coordenadas:

- Longitud (X): Distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano de referencia medida a lo largo del paralelo en el que se encuentra dicho punto.



- Latitud (Y): Es la medición angular cuyo punto de referencia es el ecuador terrestre y su desplazamiento relativo son los meridianos (norte-sur). El ecuador sería el punto 0 (cero grados) y la distancia máxima en cada eje polar serían 90 grados.
- Altitud (Z): Define la distancia en altura de un punto de referencia desde el nivel del mar para una zona geográfica concreta.

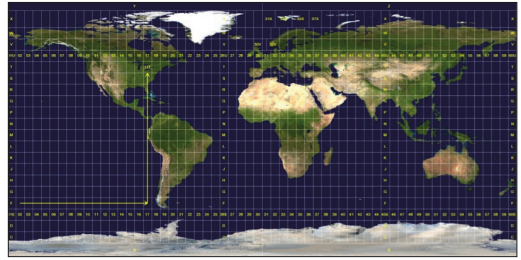
En los geomodelos se utilizan dos tipos de representaciones de coordenadas:

- Coordenadas Geográficas: Utiliza como referencia mediciones angulares (grados sexagesimales) para establecer la latitud-longitud, y en general se expresa en valores absolutos tomando como referencia el meridiano de Greenwich y el Ecuador.
- Coordenadas UTM: son representaciones de una determinada resolución cuyo valor expresa el número de kilómetros de desplazamiento norte-sur y este-oeste de una zona cuadrada sobre un meridiano de referencia denominado región.

Los elementos básicos de un sistema proyección geográfica utilizados en transporte

Dentro del marco estratégico de los sistemas de gestión de Transporte Público y apoyado en las posibilidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica para la planificación de infraestructuras de rutas y el control de flotas, resulta vital el aprovechamiento de las herramientas tecnológicas que una empresa de transporte público tiene a su alcance y cuya utilización redundará, con la mayor de las garantías, en un servicio orientado a la optimización de la planificación, en una mejora de la regularidad y por extensión, potencia los mecanismos que favorecen la movilidad real del transporte en cualquier ciudad o región.

La creación de un Sistema de Información Geográfica para Transporte Público no es una tarea sencilla y que pueda ser llevada a la práctica de una manera rápida y directa. En la mayoría de los casos, cada empresa o sistema de



transporte cuenta, de antemano, con una información de infraestructura, planificación y logística que proviene de sistemas anteriores o heredados, y que carecen de componentes Geocodificados, ello implica que, como primer paso esencial, se hace necesaria la creación de un modelo de datos geográfico y, consecuentemente, la construcción de una Geodatabase de Transporte, junto con sus herramientas de mantenimiento.

La Geodatabase de transporte público: pilar fundamental

Los sistemas GIS, para su composición, se basan en la premisa de que todo elemento es proyectable en una posición geográfica. Esta posición, independientemente del sistema de coordenadas, permite la geolocalización de cualquier entidad asociada a la infraestructura de transportes. El almacenamiento de la información geográfica y sus atributos se realiza en una geodatabase. La información de una geodatabase se almacena en un sistema organizativo de entidad-relación y su modelo se diseña acorde a las necesidades del sistema de transporte.

Un repaso por los conceptos más elementales del GIS pueden proporcionarnos una idea de qué se necesita conocer para sentar las bases de una Geodatabase. Como introducción enumeraremos, de manera breve y concisa, los objetos básicos que se utilizan en un GIS:

- Punto: Un punto es una ubicación proyectable en un mapa cuya característica principal es que define con exactitud un emplazamiento a través de sus coordenadas de latitud (Y) y longitud (X). Bajo determinadas circunstancias y necesidades, puede también establecerse su altitud (Z), aunque es menos utilizada en Transporte Público. Entre otras

muchas entidades punto utilizadas en transporte podemos enumerar las siguientes: parada, poste, emplazamiento para relevo de turno y punto de control de regulación.

- Línea: Una línea es un par de coordenadas [(X1,Y1)-(X2,Y2)] que permiten la representación de una recta mediante interpolación lineal. Una línea permite construir recorridos continuos y en transporte habitualmente se utilizan para la definición de ejes viales (calles), estos contienen los atributos necesarios para establecer la navegación por el mismo. Nótese también que cuando en cartografía se tienen que representar ejes viales con curvas, se utiliza un tipo de construcción especial consistente en la subdivisión de un eje vial completo en pequeños segmentos de rectas denominados subviales que permiten la representación final del eje mediante la concatenación de dichos segmentos. Habitualmente un vial está proyectado sobre el eje central de una calle y su punto de origen y fin coincide con el origen o el final coincide con extremos o medios físicos, como inicio, fin de calle o intersección.
- Polilínea: Consiste en la organización de objetos de tipo línea representables mediante una estructura contigua a través de la concatenación de orígenes-destinos por coincidencia de puntos de uno de los dos extremos entre dos objetos línea [(X1,Y1)-(X2,Y2)]-

[(X2,Y2)- (X3,Y3)]. De este modo se representan las carreteras, ya que siguiendo las líneas de manera consecutiva podemos obtener su trazado. Además, las líneas también se utilizan para definir áreas cerradas [(X1,Y1)-(X2,Y2)]- [(X2,Y2)- (X3,Y3)] - [(X3,Y3)- (X1,Y1)] (el extremo origen de la primera línea y el final de la última son coincidentes), con el fin de representar unas estructuras específicas denominadas polígonos. Estas estructuras habitualmente se utilizan para representar formas de la cartografía, como edificios, aceras, elementos arquitectónicos, etc.

- Atributos: Cada estructura puede tener atributos definibles, como ejemplos podemos nombrar:
 - ~ Punto: descripción del punto, dirección postal, etc.
 - ~ Ejes viales (rectas): nombre, longitud del vial, velocidad mínima y máxima, ancho de la vía, sentido de recorrido, distancia y tipo de uso permitido.

Además, en un modelo GIS y mediante la herencia de objetos se pueden crear estructuras abstractas que definen nuevos atributos o formas a partir de las elementales. Con esto se consiguen definir características como rellenos, texturas y, en general, cualquier elemento necesario para una co-

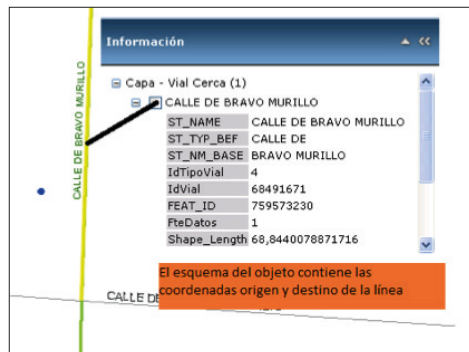
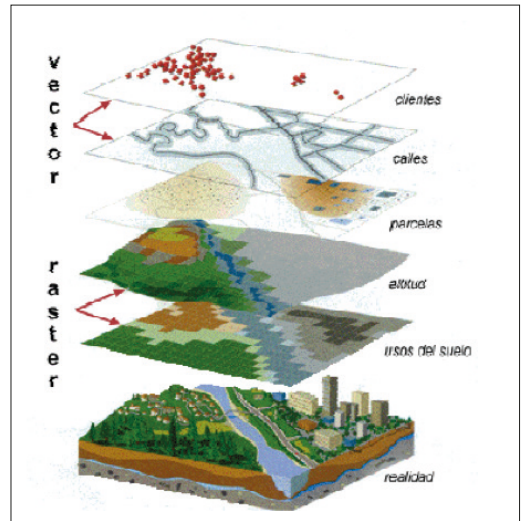


Fig. 3: Ejemplo de representación de la información de capas



recta representación o gestión de los datos cartográficos.

- Capa: Una capa es un conjunto de objetos que agrupan una característica concreta de la cartografía. Cada capa contiene los puntos, líneas y elementos heredados que pertenecen a una misma estructura simbólica. Un GIS permite organizar las colecciones de objetos mediante capas de información que pueden superponerse y visualizarse como una unidad conjunta pero independiente. Esto permite proyectar y utilizar datos de la Geodatabase sobre otros grupos de objetos que definen el territorio según las necesidades de cada sistema, tanto de manera independiente como relacionada.

Proyección de la cartografía dentro de la Geodatabase de Transporte

Los sistemas de cartografía para Transporte usan algunas definiciones particulares para definir los objetos elementales de un SIG, el más habitual y nombrado en la sección anterior es el denominado Eje Vial el cual no es sino un objeto de tipo línea que representa una sección de recorrido a través del centro de vía de una calle. El eje vial, como toda línea, está compuesto por dos pares de coordenadas y, para conseguir su trazado complejo, puede descomponerse en segmentos que podrían no tener atributos geográficos en sí mismos, pero que permiten establecer geometrías más complejas, por ejemplo, curvas. A estas subdivisiones de los ejes viales se les denomina Subviales.

Uno de los problemas principales que se presentan en un GIS para Transporte Público son las proyecciones de los distintos elementos geográficos que definen la infraestructura de la red en relación con los ejes viales. Esto surge del hecho de que la posición de los lugares en donde se emplazan las infraestructuras relacionadas con los puntos, no tienen por qué estar dentro del eje que representa un recorrido concreto en el que se proyectará la línea de transporte. El ejemplo más habitual son las paradas de una línea de transporte de superficie, las cuales suelen estar encima de las aceras,

mientras que los ejes de recorrido están en el centro de la vía.

Para conseguir que finalmente pueda establecerse el recorrido de las líneas, es necesario proyectar los puntos sobre los ejes viales, de tal modo que pueda conocerse el dicho recorrido con todos los puntos de los que se compone. Dado que los puntos a relacionar con el recorrido no tienen por qué caer exactamente en los principios o finales de las rectas, el segmento de recorrido sobre el que cae el punto en la recta siempre suele ser una proyección ortogonal de dicho punto en la recta (eje vial), lo que permite calcular qué proporción de la recta es la correspondiente a la distancia. Así pues, el cálculo de la distancia a una parada, habitualmente se realiza a través de la obtención de la suma de longitudes de los ejes viales consecutivos desde la cabecera de origen o punto de referencia incluido el eje vial previo al que contiene la parada. Al resultado de este cálculo, se le incrementa la parte proporcional de la longitud de la recta en relación al segmento que se produce con la intersección de dicha proyección ortogonal sobre el total de la recta.

En este punto, se hace necesario ampliar los conceptos que en los SIG de transporte se utilizan para el trazado de recorridos y la proyección de puntos intermedios.

Tramo (T): Un tramo es una secuencia de Ejes Viales (V_n) consecutivos (internamente constituidos por subviales (S)) y que definen un recorrido entre dos paradas (P_i).

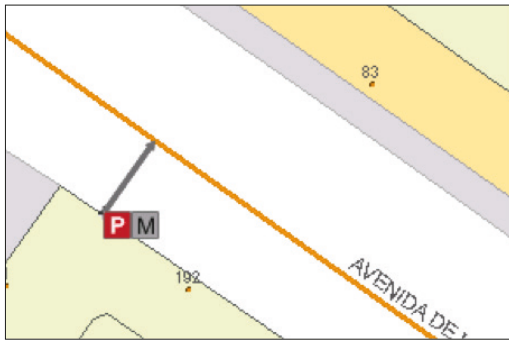


Fig. 4: En este ejemplo real podemos ver el efecto resultante de la proyección de una parada (punto) sobre un eje vial (recta).

Es importante que un SIG de Transporte pueda soportar la definición de estos distintos tramos:

- Segmentos o secciones de línea (S): consiste en la concatenación de tramos (T) hasta completar la totalidad de un sentido de recorrido. Habitualmente suelen incorporar un primer tramo (T) con la parada de cabecera de origen del trayecto (PC1) y un último tramo con la parada final del trayecto (PC2), junto con una secuencia de paradas (P), aunque pueden existir secciones con topologías distintas o más complejas.
- Segmentos o secciones de salida y encierro (RS-RE): Define los distintos recorridos que los vehículos deben realizar entre su lugar de aparcamiento (E) y las cabeceras de servicio

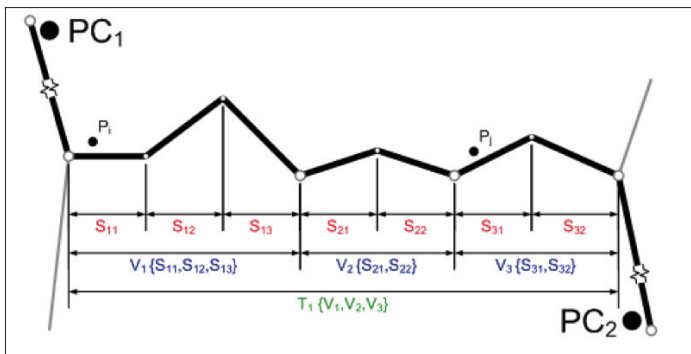
- (PC1-PC2). Un caso especial son los recorridos no comerciales entre cabeceras (FL).
- Desvíos (D). Consiste en la definición de un conjunto de Ejes Viales que comienzan y finalizan en recorridos de los ejes comerciales pero varían en un punto incorporándose en el mismo o en otro tramo o sección.

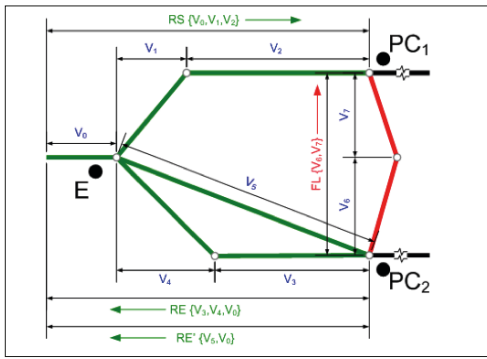
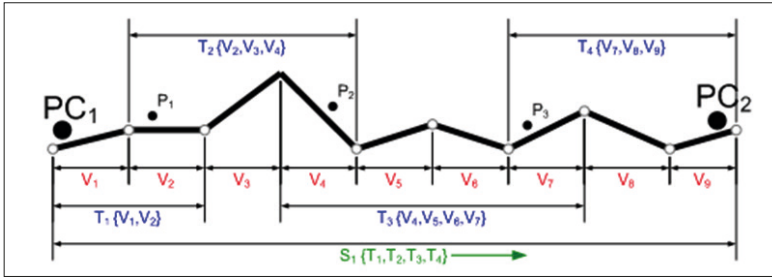
Es importante reseñar cómo, para el cálculo de un trazado de desvío, el sistema siempre tendrá la restricción de que el segmento de trazado incorpora la última parada previa al desvío y la primera después de la recuperación de itinerario, ya que son los puntos de inicio y fin en los que se transportará a los clientes, lo que implica que se deben tener en cuenta dentro del cálculo de la distancia de desvío.

Requisitos que debe cumplir un GIS de transporte

Como hemos comentado, la finalidad de un GIS de transporte es la planificación del trazado y el control de la planificación sobre la infraestructura de la ciudad, como tal, la construcción de un GIS de transporte debe obedecer a:

- Flexibilidad de uso: Permitiendo el uso de herramientas gráficas para el trazado de los elementos elementales descritos anteriormente, así como el movimiento controlado de cualquier punto dentro del mapa.



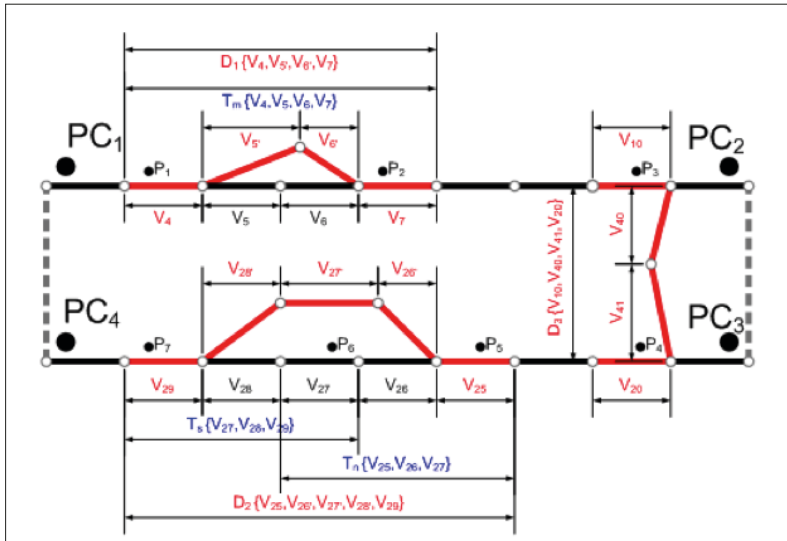


ser dinámica, o tener que adaptarse a las distintas situaciones que puedan surgir de la demanda o la movilidad, un SIG de Transporte debería contemplar distintos esquemas de recorrido o puntos de la red para distintos periodos de tiempo, de tal manera que puedan entrar en operación según la necesidad que exista o poder analizar los resultados de la operación en relación con la planificación existente en cada momento histórico. La Geodatabase deberá estar segmentada en periodos históricos de vigencia.

- Gestión de cartografías: debe permitir adaptaciones rápidas y la construcción compleja de cartografías, fondos y diseños.
- Periodos históricos. Puesto que la situación de la red de transporte de un operador puede

Modelización de estructuras

Tal y como se comentó al principio de esta sección, los modelos de Geodatabase se basan en la estructuración de la información mediante bases de datos relacionales. Dichas bases de datos contendrán el conjunto de tablas, vistas



e índices necesarios para poder gestionar tanto la información geoespacial (atributos geográficos) como la información alfanumérica asociada (atributos de transporte).

En la actualidad, prácticamente cualquier base de datos del mercado tiene potencia para los complejos sistemas de relación de una geodatabase, pero lo más importante sigue siendo la concepción del modelo de datos, tarea esencial y cuya definición garantizará el correcto funcionamiento del sistema. La modelización de la geodatabase debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Facilidad para la actualización de la cartografía esencial, entre cuyos elementos principales se encuentra el eje vial.
- Toda entidad debe llevar asociado el periodo histórico al que pertenece (vigencia de datos), ya que los elementos de transporte (líneas, recorridos, paradas), están sujetos a su creación, modificación y desaparición durante periodos temporales. Dichos periodos deben estar accesibles a lo largo de la vida útil de la línea con el fin de poder establecer referencias, comparaciones o análisis inter-periodos.
- Escalabilidad de la información, con el fin de permitir la creación de nuevos atributos relacionados con las entidades.

El modelo de datos expresa no sólo la enumeración y características de las tablas de la geodatabase sino también su relación.

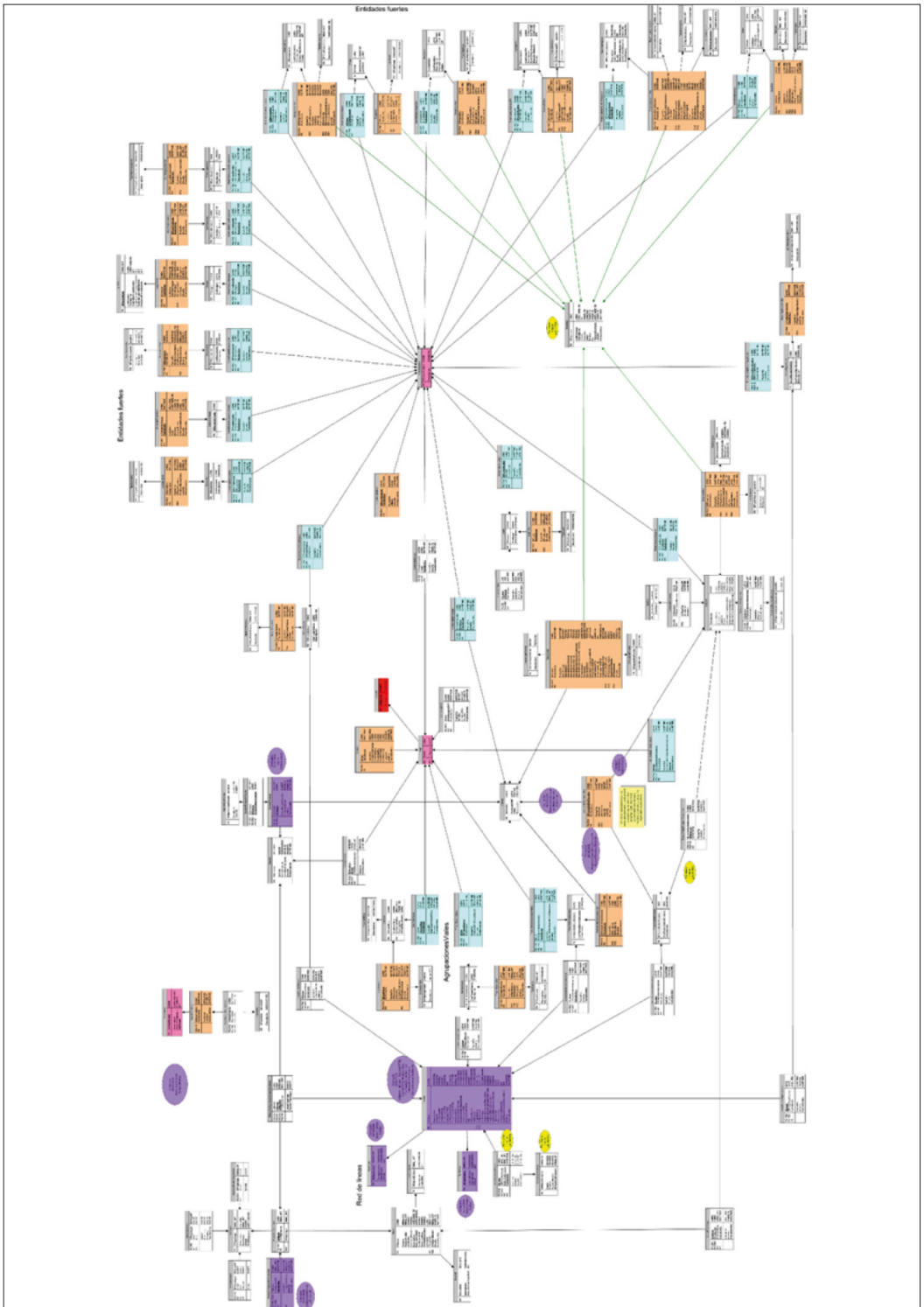
Valores añadidos que se pueden obtener de un GIS de Transportes

Una vez construido un GIS de Transporte, no hay una limitación específica en cuanto a las posibilidades que éste puede ofrecer. Entre otros muchos, podemos reseñar los siguientes beneficios:

- Precisión en la ubicación de lugares estratégicos para el servicio: todo emplazamiento o ubicación puede ser establecido en mapa

(paradas, puntos de relevo, lugares y mobiliario, etc)

- Trazados de recorrido: se pueden realizar trazados de ruta basados en fondos cartográficos actualizables desde cualquier proveedor y que proporcionan los ejes viales necesarios para la definición de recorridos de líneas, lo que permite que el sistema se mantenga actualizado ante cualquier planificación urbanística.
- Control en tiempo real de la flota: mediante dispositivos como GPS y comunicaciones basadas en radio, es posible realizar un seguimiento y regulación de la flota con relación a su ubicación exacta.
- Proyectar análisis territoriales que aporten con exactitud todos los datos relativos a la oferta de servicios de transporte en relación con la demanda y la población en cada zona de territorio.
- Control de las averías o acciones correctivas in-situ, guiando al operario de asistencia hasta el lugar del problema.
- Realizar análisis sobre las desviaciones de la regularidad y los puntos negros de transporte en las zonas geográficas en las que sucede (atascos, puntos negros, etc), con el fin de poder analizar posibles mejoras correctivas.
- Posibilidad de ofrecer información de tiempos de llegada o posiciones de la flota a los clientes proyectándola sobre cartografía, tanto si esta es propietaria, pública o de terceros, proporcionando a los ciudadanos un conocimiento de la oferta de transporte existente en tiempo real, lo que redundará en un mayor incentivo a la hora de utilizar el transporte público, ya que elimina el factor incertidumbre.
- Cálculos de rutas óptimas para el usuario de transporte público, mediante el uso de motores de georouting.
- Intercambio de información geográfica con otros sistemas en base a los estándares definidos por el Open Gis Consortium, facilitando el despliegue de redes de información en las cuales, los datos de transporte público quedan integrados en fondos cartográficos



cos y portales públicos que interrelacionan la infraestructura de estos servicios con otros datos aportados por otras empresas o sistemas.

Herramientas comerciales GIS disponibles en el mercado

En la sección actual se realizará un análisis de las herramientas disponibles para el despliegue de sistemas de información geográfica. Lógicamente, el sector GIS es amplio, ya que su cada vez mayor relevancia derivada de la disponibilidad de sistemas GPS y dispositivos móviles hace que el software para sistemas GIS esté en constante crecimiento.

- ESRI (www.esri.es). Empresa líder a nivel mundial con sede en California (EE.UU.), dada la popularidad alcanzada desde hace años, algunos de sus formatos de almacenamiento son un estándar en el mercado, principalmente el shp (shapefile). Sus productos abarcan todo el ciclo de vida de un GIS, permitiendo realizar la totalidad de las tareas, construcción de mapas, lectores de cartografía, editores geoespaciales, geocoding, georouting y gestión de geodatabases. Muchos de sus productos, además, se distribuyen mediante APIs implementables dentro de programas o constructores de software como Java, Python o Microsoft.NET, entre otros. La línea de productos ARCGIS abarca desde plataformas tipo servidores de GIS privados o en modo Cloud hasta plataformas más básicas en modo cliente local o dispositivo móvil. También ofrecen servicios directos de consultoría o soporte para sus productos.
- Intergraph (www.intergraph.com/global/es/). La compañía Intergraph dispone de un extenso catálogo de productos orientados al diseño asistido, mediciones y obras de ingeniería. Entre ellos se encuentra GeoMedia, cuya funcionalidad está completamente orientada a GIS y contiene todos los recursos geoespaciales para la gestión del ciclo de vida del sistema. Geomedia, al igual que ARCGIS, permite la construcción de un Sistema de Información Geográfica a medida utilizando para ello el producto GEomedia Transportation.
- GvSIG (<http://www.gvsig.org/>). GvSIG es un proyecto de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en software libre, que incluye principalmente las aplicaciones gvSIG Desktop y gvSIG Mobile. GvSIG Desktop fue la primera aplicación que se desarrolló dentro del proyecto gvSIG, por lo que se conoce también como gvSIG. gvSIG Desktop es un programa informático para el manejo de información geográfica con precisión cartográfica que se distribuye bajo licencia GNU GPL v2. Permite acceder a información vectorial y rasterizada así como a servidores de mapas que cumplan las especificaciones del OGC (Open Gis Consortium).
- Quantum GIS (<http://www.qgis.org/>). Quantum GIS (o QGIS) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Era uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo. Permite manejar formatos raster y vectoriales, así como bases de datos.
- SAGA GIS (<http://www.saga-gis.org/>). SAGA (System para Automated Geoscientific Analyses) es un software híbrido de GIS. El primer objetivo de SAGA es dar una plataforma eficaz y fácil para la puesta en práctica de métodos geocientíficos mediante su interfaz de programación (API). El segundo es hacer estos métodos accesibles de una manera fácil. Esto se consigue principalmente mediante su interfaz gráfica de usuario (GUI).
- GMT (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>). Generic Mapping Tools es un paquete gratuito de programas de software abierto, compuesto de alrededor de 60 archivos de comandos para la elaboración de datos geográficos en dos y tres dimensiones, incluyendo algoritmos para filtración, proyección, superposición de mallas, etc. Puede generar ilustraciones en archivos Postscript tridimensionales que van desde dibujos hasta superficies coloreadas.

- GMT puede generar aproximadamente 30 tipos de proyecciones geográficas.
- GRASS (<http://grass.itc.it/>). GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) es un software GIS bajo licencia GPL (software libre). Puede soportar información tanto raster como vectorial y posee herramientas de procesado digital de imágenes. En sus inicios, en 1982, el software fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de los Estados Unidos (USA-CERL) como herramienta para la supervisión y gestión medioambiental de los territorios bajo administración del Departamento de Defensa al no encontrar ningún GIS en el mercado que satisficiera estas necesidades. En 1991 se pone a disposición pública a través de Internet. Su popularidad se incrementa en universidades, empresas y agencias gubernamentales. En 1997, ante el anuncio de USA-CERL GRASS de que dejaría de dar soporte al programa, la Universidad de Baylor se hace cargo de su desarrollo. A partir de esta fecha aumenta su aceptación dentro del mundo académico. El 26 de octubre de 1999 con la versión 5.0 se libera el código del programa bajo licencia GNU GPL. GRASS era uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo.
 - TAIGA (<http://clarklabs.org/>). Es un completo paquete software integrado de GIS para análisis y visualización de información espacial e imagen. Posee elevadas ventajas respecto a otros SIG con sus módulos avanzados para la modelización temporal de sucesos con datos raster, muy orientado a la Teledetección y Fotointerpretación. Posee una suite completa de herramientas para procesado de imágenes multiespectrales e hiperespectrales.
 - OpenJUMP (<http://www.openjump.org/>). Es un GIS desarrollado bajo tecnología Java y mejorado por la comunidad de usuarios. Visualizador de datos WFS y los recuperados de servidores WMS, aunque con ciertas limitaciones en cuanto a imágenes, aspecto en el que se está trabajando para mejorar los

análisis de imágenes raster. Se puede mejorar el sistema núcleo principal, ya que es extensible mediante la instalación de plug-ins o funciones.

Cartografías para GIS

Tal y como se expuso en la sección dedicada a la descripción de la Geodatabase, un elemento esencial a la hora de modelizar, trazar y gestionar el diseño de las líneas es el eje vial. Dicho eje, compuesto habitualmente por polilíneas, aunque pueden tener otros elementos geoespaciales, contiene atributos absolutamente imprescindibles para el modelado de un trazado de recorrido. Es importante reseñar que la cartografía de una ciudad o de las comunicaciones entre ciudades están sujetas a cambios y evoluciones que una empresa de transporte no puede gestionar, debido al exhaustivo trabajo de campo que es necesario llevar a cabo. Por este motivo, resulta fundamental apoyarse en proveedores de cartografía que realicen esta labor y cuyas bases de datos de cartografía puedan utilizarse en el desarrollo del GIS de transporte. Entre los proveedores, los más importantes son aquellos que garantizan:

- Una correcta definición geográfica del eje vial.
- Una garantía de continuidad en el tiempo para la evolución de las actualizaciones (conservación del identificador único del vial).
- Un conjunto de atributos suficiente para la correcta gestión del trazado y seguimiento de recorridos, tanto por carretera como, a ser posible, a pie.

Los proveedores de cartografía de viales pueden ser diversos, siendo los de mayor importancia estratégica aquellos cuya labor está fundamentalmente orientada al registro y medición permanente en calle, aunque también pueden ser orígenes adecuados de datos las cartografías de organismos públicos, nacionales o regionales. Los proveedores principales suministradores de viales de cartografía de transporte disponibles en el mercado son:

- Nokia Maps (Navteq). Nokia Maps (antes Navteq) es uno de los líderes mundiales en información cartográfica digital de máxima calidad. Gran parte de los vehículos con sistema de navegación vendidos en Norteamérica y Europa utilizan cartografía Navteq. Desde 1999 se han equipado más de 10 millones de vehículos con sistemas de navegación con Nokia Maps. También es el motor que impulsa una nueva generación de importantes servicios de navegación, como son: sitios web en Internet, soluciones de Empresa/Flotas/GIS y servicios basados en localización (LBS). Realiza una exhaustiva recogida de datos en campo con un personal en España de más de sesenta personas. La base de datos cartográfica de Nokia Maps es elegida por miles de aplicaciones en todo el mundo. Fabricantes, ingenieros de aplicaciones, desarrolladores de productos y consumidores destacan su robustez, detalle y fiabilidad. Las calles de doble sentido son normalmente representadas por un único eje de viales situado en el centro de la calzada. Únicamente en los casos en que ambos sentidos estén claramente separados (con medianas de 2-3 metros), se representan dos ejes de viales, uno por cada sentido. En cualquier caso, cada vial tendrá un atributo que indicará si el mismo es o no de doble sentido.
Entre sus características:
 - ~ Se garantiza la continuidad de los identificadores de viales entre actualizaciones de cartografía.
 - ~ Incorpora hasta 55 categorías de POIs (Puntos de Interés).
 - ~ Los viales que componen su geometría almacenan hasta 204 atributos por segmento.
 - ~ Se incluyen códigos TMC (Traffic Message Channel) para permitir realizar una navegación acorde a la situación real del tráfico. Se pueden obtener hasta 4 actualizaciones al año.
- Teletlas. TeleAtlas es otro de los líderes mundiales en información cartográfica digi-

tal de máxima calidad. Casi la totalidad de los vehículos con sistema de navegación vendidos en Norteamérica y Europa utilizan cartografía de TeleAtlas o de Navteq. TeleAtlas es clave en multitud de segmentos del mercado de navegación, que incluye navegación personal, wireless/LBS, servicios de emergencias o sistemas de gestión de flotas. Esta cartografía también es la cartografía utilizada por Google Maps, tanto en el modelo de mapas como en Transit. La base de datos cartográfica de TeleAtlas permite a sus usuarios encontrar destinos, hacer de guías de viaje con puntos de interés, y en general proporciona una precisión en sus datos destacable. A continuación se enumeran algunas de las características fundamentales de la cartografía de TeleAtlas:

- ~ Incorpora hasta 25 categorías de POIs (Puntos de Interés).
- ~ Los viales que componen su geometría almacenan hasta 200 atributos por segmento.
- ~ Se incluyen códigos TMC (Traffic Message Channel) para permitir realizar una navegación acorde a la situación real del tráfico.
- ~ Se pueden obtener hasta 4 actualizaciones al año.
- ~ Realiza una exhaustiva recogida de datos en campo con un personal en España de más de treinta personas.

1.2.2. Sección segunda: la planificación de horarios

Definiciones

- Cuadro horario. Representa el comportamiento que debe seguir un vehículo o vehículos para cubrir los requisitos previamente especificados. Entendiendo como vehículo el autobús, tren, etc. con el cual se desea cubrir una oferta de servicio, oferta que precisamente forma parte de los requisitos a especificar. Para entender mejor este concepto vamos a introducir a continuación una serie de términos generales que forman parte tan-

to del input como el output de un sistema de planificación horaria.

- Oferta de servicio. Normalmente se define en valores de frecuencia de paso o número de vehículos detallado por franja horaria. Ambos son complementarios y se puede obtener el uno a partir del otro a través del tiempo de duración del viaje.
- Línea. La definición puede variar en algunas explotaciones pero la más habitual es el recorrido definido entre dos terminales de inicio y fin. El recorrido y terminales pueden variar cuando se definen sublíneas de esta.
- Servicio de un vehículo o también denominado horario. Agrupa todos los pasos que un vehículo debe realizar desde que inicia hasta que termina.
- Servicio de un conductor o también denominado turno o actividad. Agrupa todos los pasos que un conductor debe realizar desde que comienza su jornada hasta que acaba.
- Duración del viaje. Tiempo empleado en ir de un terminal a otro. Este tiempo suele variar según la franja del día y otros aspectos como el tipo de día y la estacionalidad.
- Terminales. También denominados cabeceiras y es el lugar donde el vehículo es regulado. Son puntos de la red donde normalmente descienden los viajeros y cambia el sentido del viaje. Son usados para definir el inicio y fin del viaje.
- Puntos/recorrido de incorporación/salida del servicio. Son los puntos desde donde un vehículo inicia su servicio en línea procedente de una cochera, aparcamiento u otro servicio. O bien lo finaliza con destino a uno de los nodos mencionados como cochera, aparcamiento u otro servicio.
- Puntos de relevo. Lugares dentro del recorrido donde es posible realizar un cambio de conductor en el servicio del vehículo.
- Puntos de regulación. Son aquellos puntos del servicio que sirven para mejorar la regulación tanto para ajustar excesos como defectos sobre el horario previsto.

Datos de entrada

Los datos de partida más importantes en la planificación horaria son la oferta de servicio y el escenario. Estos son los parámetros más influyentes en el objetivo final que no es otro que obtener un horario lo más optimizado posible.

En primer lugar está la oferta de servicio y que se puede determinar a partir de varias fuentes, las más habituales son:

- Autoridad de transporte. En este caso es una entidad la que tiene la responsabilidad de fijar las frecuencias en función de diferentes parámetros que pueden ser datos de demanda (estimada o real) o de servicio público (cubrir necesidad básica de transporte).
- Análisis de la demanda. En el caso que se pretenda rentabilizar un servicio los datos de oferta se harán en base del análisis continuo de la demanda. Se busca que ambas curvas estén lo más próximas y para ello la oferta se realimenta de forma continua con datos de demanda.

La oferta de servicio puede venir indicada en valores de frecuencia o dotación de vehículos. Ambos parámetros son complementarios y se pueden obtener a partir del tiempo de viaje.

Para ver esta equivalencia entre frecuencia y dotación vamos a ver un ejemplo. Suponiendo una dotación de 5 vehículos y una duración del viaje de 30 minutos en ambos sentidos la frecuencia sería:

$$Frecuencia = \frac{\textit{Tiempo de vuelta}}{\textit{Dotación}} = \frac{60}{5} = 12 \textit{ minutos}$$

Sin embargo no es frecuente que la duración del viaje sea el mismo tiempo durante todo el día salvo en carriles dedicados, pero la oferta es todavía más inusual que no cambie a lo largo del día. Por ello la oferta se puede especificar en los siguientes tres términos:

- Franja horaria. Se especifican los valores por rangos horarios dentro de una jornada de

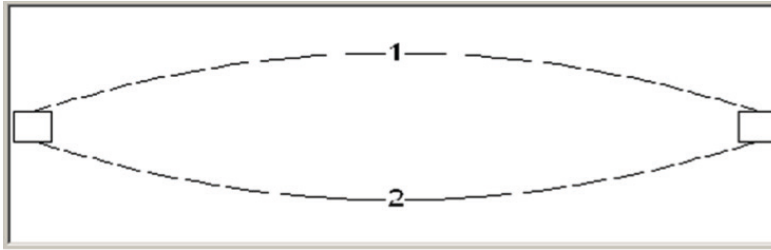


Fig. 5: Tipología normal de una línea

hasta 24 horas. Estos rangos pueden ser fijos o variables.

- Tipo de día. Otro parámetro que puede influir en la oferta y demanda. Una primera agrupación puede ser por laborable, sábados y festivos. Aunque se podría llegar a un nivel de detalle mayor como el día de la semana.
- Temporada. Época del año en la que la demanda se comporta de forma homogénea dentro de un mismo tipo de día. Las más comunes son invierno y verano.

Por otra parte están los posibles escenarios de planificación:

- Servicios que se prestan en una sólo ruta. Es el caso más sencillo y es cuando un vehículo inicia el servicio hacia un terminal y su recorrido se realiza entre dos terminales que no cambian hasta que finaliza el horario y se retira hacia un nodo de finalización. O lo que es lo mismo, el servicio se realiza dentro de la misma línea/sublínea.
- Servicios que se prestan en varias rutas. Inician en un punto de un recorrido definido

y puede cambiar a lo largo del tiempo. El nivel de complejidad puede ser el que se define pero cuanto más complejo la optimización puede no estar justificada por la confusión que puede producir al cliente o conductor.

- Sobre estos escenarios también puede haber condicionantes que sea necesario tener en cuenta en la planificación. Por ejemplo, si el vehículo circula por un carril dedicado, si el carril de circulación permite o no adelantamientos, si se requieren tiempos de regulación en puntos intermedios, hay puntos de correspondencia con otras rutas, el número de kilómetros que recorre entre respuestos los vehículos que van hacer ese servicio, etc.

En función de estos escenarios los parámetros de entrada pueden variar significativamente, en los ejemplo que se muestran a continuación para simplificar vamos a considerar el caso más habitual que es el primero de los mencionados.

Por último antes de comenzar con la confección del horario se requiere tener definido una serie parámetros, bien con herramientas de pla-

Días	Inicio	Fin	Estado
Laborables	05:55	23:30	T
Sábados	05:55	23:30	T
Festivos	05:55	23:30	T

Fig. 6: Ejemplo de datos básicos de un horario

Servicio de Pasajeros		HOJA DE SERVICIOS BERTELLO					
OPERADOR: TRANSVIAL		Ciclo: 60 minutos					
Programación Nov 2011		Flota: 8 buses		Horario: de 5am a 11pm		ALN 46	
		HÁBIL Y SÁBADO				Semana 2011-46	
No. Serv	Origen	Salida de Patio Norte	Llegada Bertello	Salida Bertello	Llegada Naranjal	Salida Naranjal	Destino
3021	Patio Norte	4:38			4:57	5:00	
3021			5:28	5:29	5:57	6:00	
3021			6:28	6:29	6:57	7:00	
3021			7:28	7:29	7:57	8:00	
3021			8:28	8:29	8:57	9:00	
3021			9:28	9:29	9:57	10:00	
3021			10:28	10:29	10:57	11:00	
3021			11:28	11:29	11:57	12:00	
3021			12:28	12:29	12:57	13:00	
3021			13:28	13:29	13:57	14:00	
3021			14:28	14:29	14:57	15:00	
3021			15:28	15:29	15:57	16:00	
3021			16:28	16:29	16:57	17:00	
3021			17:28	17:29	17:57	18:00	
3021			18:28	18:29	18:57	19:00	
3021			19:28	19:29	19:57	20:00	
3021			20:28	20:29	20:57	21:00	
3021			21:28	21:29	21:57	22:00	
3021			22:28	22:29	22:57	23:00	
3021			23:28				A Patio Norte
3022	Patio Norte	4:45			5:04	5:07	
3022			5:35	5:36	6:04	6:07	
3022			6:35	6:36	7:04	7:07	
3022			7:35	7:36	8:04	8:07	
3022			8:35	8:36	9:04	9:07	

nificación de rutas o bien con otras herramientas accesorias al planificador de horarios, que son:

- Denominación de las rutas o líneas, recorridos de las rutas, distancias por cada sentido, recorridos y distancias de entrada y salida a la ruta.
- Puntos significativos de la ruta (terminales, puntos de relevo en ruta, puntos de regulación, etc.).
- Tiempos de recorrido (o duración del viaje) por franja horaria de cada ruta. Si son diferentes según el tipo de día o la temporada habría que desglosarlos por este concepto.
- Tiempos de recorrido por franja horaria de cada recorrido de entrada y salida.
- Tiempo o proporción de tiempo de los puntos significativos.

Con esta información previamente definida a continuación se describe:

- Denominación del horario (identificador), ruta asociada, temporada asociada.
- Tipos de día en los que prestará servicio.
- Horario de inicio en cada terminal de la ruta.

– Horario de finalización en cada terminal de la ruta.

A partir de este momento estaríamos en disposición de comenzar a elaborar el horario.

Datos de salida

La hoja Excel superior muestra un ejemplo que se utilizará como guía para explicar los objetivos que se persiguen con la elaboración de un horario.

Este ejemplo pertenece a una operación de autobuses urbanos de un país de América Latina y ayuda a mostrar que aunque alguna denominación puede cambiar, los principios son los mismos. También se puede apreciar que para hacer una planificación se puede utilizar como herramienta el Excel. Si se examina la cabecera de la hoja se pueden identificar la mayoría de datos de entrada que se han mencionado anteriormente. Temporada (Nov. 2011), Tipo de día de la semana (Hábil y Sábado), Horario de inicio y de finalización (5 am a 11pm), Tiempo de viaje (Ciclo: 60 minutos), Dotación (8 buses).

El fin de la planificación es obtener para cada servicio de bus el detalle de su actividad, desde que inicia hasta que finaliza. Para ello a gran-

Servicio de Pasajeros		PROGRAMACION BERTELLO					
OPERADOR: TRANSVIAL		Ciclo: 60 minutos					
Programación Nov 2011		Flota: 8 buses		Horario: de 5am a 11pm		ALN 46	
HÁBIL Y SÁBADO				Semana 2011-46			
No. Serv	Origen	Salida de Patio Norte	Llegada Bertello	Salida Bertello	Llegada Naranjal	Salida Naranjal	Destino
3021	Patio Norte	4:38			4:57	5:00	
3022	Patio Norte	4:45			5:04	5:07	
3023	Patio Norte	4:52			5:11	5:14	
3024	Patio Norte	4:59			5:18	5:21	
3025	Patio Norte	4:05	4:56	4:57	5:25	5:28	
3026	Patio Norte	4:13	5:04	5:05	5:33	5:36	
3027	Patio Norte	4:21	5:12	5:13	5:41	5:44	
3028	Patio Norte	4:29	5:20	5:21	5:49	5:52	
3021			5:28	5:29	5:57	6:00	
3022			5:35	5:36	6:04	6:07	
3023			5:42	5:43	6:11	6:14	
3024			5:49	5:50	6:18	6:21	
3025			5:56	5:57	6:25	6:28	
3026			6:04	6:05	6:33	6:36	
3027			6:12	6:13	6:41	6:44	
3028			6:20	6:21	6:49	6:52	

des rasgos el proceso consiste en poner en circulación desde la hora de inicio tantos servicios como sean necesarios para cubrir la dotación o bien la frecuencia. Cuando cambian las frecuencias o duración del viaje se deben incorporar o retirar servicios para adaptarse a la oferta. Cuando se aproxima la hora de finalización se van retirando vehículos hasta que queda uno que es quien realiza el último viaje de la línea ajustándose a la hora de finalización.

En una primera visión podemos observar como resultados:

- Nº Servicio. Un identificador único para cada servicio de un vehículo. En el ejemplo se pueden ver el 3021 y el inicio del 3022.
- Detalle del servicio. Para cada servicio se van obteniendo los pasos a realizar desde que inicia hasta que finaliza. Siguiendo el ejemplo, el servicio 3021 inicia en una cochera (Patio Norte) a las 4:38 y realiza el trayecto hasta la terminal de Naranjal. Llega a Naranjal a las 4:57, tiene un tiempo de regulación de tres minutos e inicia el viaje hacia la otra terminal a las 5:00. Llega a Bertello a las 5:28, espera un minuto y vuelve a salir hacia Naranjal. Así sucesivamente hasta las 23:28 que llega a Bertello e inicia el viaje hacia el Patio Norte donde finaliza el servicio.

Como podemos observar el proceso parece sencillo aunque presente una serie de inconvenientes, el principal, es que no se puede ver que frecuencia se está manteniendo a lo largo

de la jornada. Para conocerlo deberíamos tener otra hoja Excel en paralelo donde se ordenen los servicios por el instante, tal y como se puede ver en la siguiente superior.

En la hoja se puede ver el orden y la hora de inicio de todos los servicios, del 3021 al 3028 y las horas de inicio de ambos terminales. También se puede apreciar que la frecuencia entre los servicios es de 7 y 8 minutos.

Como se puede apreciar con una hoja de cálculo se podría generar horarios de forma manual, sin embargo, a medida que aparecen nuevas variables la complejidad se incrementa notablemente y empieza a ser ingestible con una hoja, además de no permitir la optimización. Cuando se incrementa el número de servicios, la duración de los viajes varía por franja horaria, etc. esta solución es insuficiente. Para los casos de mayor complejidad empiezan a ser necesarias herramientas específicas que van desde la ayuda a la gestión de la información con representaciones gráficas y otras pequeñas funcionalidades hasta la generación automática del horario a partir de los datos de entrada.

En el gráfico superior de la página siguiente se puede ver la representación horaria de forma gráfica, a esta representación se le suele denominar reloj (horario).

Como se puede ver el gráfico tiene dos ejes horarios que representan los terminales (A y B) y que están cortados por las horas (5:00, 6:00, 7:00 y 8:00). En la parte superior de los ejes se muestran los tiempos de viaje para cada senti-

2. Planificación operativa

Este tema está dedicado al ciclo de vida de la planificación para el servicio. Esta planificación tiene tres componentes principales:

- Planificación del servicio de los conductores: En base a la definición del horario de servicio en la fase de planificación horaria (ver Tema 2), diariamente deberán obtenerse unos esquemas de servicio en los que se incorporen, bajo los requisitos que impongan los convenios laborales y los convenio-marco de servicio, un ciclo de trabajo y de libranza para que los conductores realicen su prestación de servicio.
- Planificación del servicio de los vehículos: Igualmente que para los conductores, y bajo los criterios de disponibilidad de las unidades de transporte, las herramientas de gestión deberán ser capaces de asignar diariamente los vehículos para su prestación de servicio.
- Control de la estación: Dentro del ciclo de vida de la gestión del servicio será necesario realizar una serie de tareas de control operativo cuya finalidad es gestionar y validar la actividad de una estación, entendida esta como una unidad operativa que se encarga del control de la planificación de vehículos y conductores. Dichas tareas se analizarán en esta sección.

2.1. Planificación de conductores

2.1.1. Introducción

En esta sección se va a describir todo el proceso de cálculo y asignación de conductores para cumplir el horario u horarios previstos. Este proceso se puede agrupar en tres grandes pasos:

- Creación de turnos de trabajo. Se realiza en la fase de planificación general y se trata de obtener la distribución de turnos a partir del horario.

- Generación de programas de trabajo. También forma de la fase de planificación general aunque en casos muy sencillos se podría realizar en fase de planificación operativa. A grandes rasgos se trata de planificar en periodos de tiempo acotados la distribución de los turnos de la forma más óptima posible.
- Planificación operativa. En este punto a partir de los programas de trabajo se calcula la plantilla necesaria y se hace la asignación a corto o medio plazo de los conductores.

2.1.2. Condicionantes laborales

Antes de comenzar con la creación de turnos de trabajo hay que tener en cuenta las leyes y convenios existentes en términos de regulación de empleo y conducción. En concreto se pueden encontrar los siguientes niveles:

- A nivel nacional. Suele determinar la jornada máxima de trabajo tanto continua como discontinua, el número de días de descanso, número de días máximo de trabajo continuados, número máximo de horas seguidas sin descansar, tiempo de descanso mínimo entre tiempo de conducción, etc.
- A nivel local. Algunos países a nivel federal, autonómico o local pueden tener normativa que añade o precise alguna directriz nacional.
- A nivel de empresa. Pueden existir convenios firmados entre empresa y representantes de los empleados. Estos convenios pueden introducir cambios a la normativa legal sin vulnerar la ley o definir las compensaciones que se percibirán por realizar turnos de trabajo con condiciones especiales. Por poner un ejemplo, un convenio puede fijar una reducción en la jornada laboral establecida a nivel nacional o determinar la compensación por el exceso de jornada sobre el máximo establecido. Cuantas más condiciones se establezcan a este nivel más complejo es obtener la asignación óptima de turnos de trabajo al horario.

2.1.3. Turnos de trabajo

Como en el proceso anterior, se pueden calcular mediante una hoja Excel pero en este caso salvo en situaciones muy simples el nivel optimización será muy bajo. Hay que precisar que por optimización se entiende aquella distribución que sea la menor en coste de operación, donde el mayor porcentaje de este coste los representa los gastos de personal.

También existen herramientas gráficas que ayudan a realizar de forma manual la distribución de actividades. En la imagen inferior de esta página y en la superior de la siguiente se muestra un ejemplo de este tipo de herramientas.

En el primer gráfico se muestra toda la planificación de actividades correspondiente al horario y en el segundo una porción del gráfico ampliado para poder ver con más detalle. En este segundo gráfico se puede ver en el eje de las abscisas la escala horaria y en el eje de coordenadas la identificación de los coches. Por ejemplo el coche 4 representado en azul inicia la actividad del conductor a las 7:57 hasta las 15:08 que cambia de conductor en el terminal A. Este turno tiene una duración de 7:11. En el coche 6 la actividad inicia a las 10:35 y finaliza a las 15:33. La duración es inferior al mínimo por lo que tiene un identificador (A) que indica que es un turno partido y existe otra parte identifica-

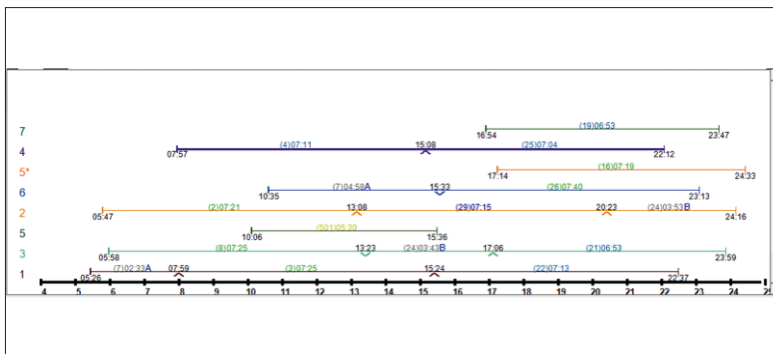
da con la misma letra y que en este ejemplo se encuentra en el coche 1 de 05:26 a 07:59.

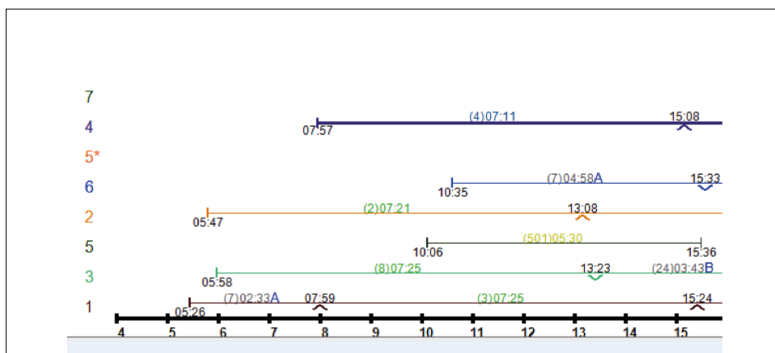
Estas herramientas permiten de forma visual e intuitiva añadir o quitar relevos (cambios de conductor), validan los turnos sobre las condiciones parametrizadas, comprueban la validez del conjunto, calculan el coste del horario en términos económicos, etc.

Como ya se ha comentado anteriormente el ajuste de turnos de trabajo depende en gran medida de los condicionantes laborales, no obstante se van a dar una serie de directrices que se pueden seguir basados en casos reales de empresas españolas.

- Si el horario de un vehículo supera la jornada máxima diaria hay que partirlo en dos turnos intentando que uno por lo menos sea por la jornada mínima diaria.
- Si el horario no supera esa jornada máxima diaria y respeta el descanso mínimo lo más rentable es que lo cubra un único conductor compensando el exceso de jornada con descanso o económicamente.
- En los casos en que un horario tenga una actividad inferior a la jornada mínima diaria se intentará completar con otros trozos de actividad hasta alcanzar la jornada mínima.

En este punto el horario está listo para entrar en servicio y eso es el siguiente paso a rea-





lizar, asociar la fecha de inicio y unos días antes planificar vehículo y conductor cuyo proceso se verá a continuación.

2.1.4. Programación de los turnos de trabajo

A la hora de asignar conductores hay que tener en cuenta en primer lugar que son personas y que cuanto más confortable sea la asignación, la motivación y por lo tanto su rendimiento será mayor y su conducción más segura. Por ello es importante conocer las preferencias habituales y tratar de respetarlas si estas no afectan al servicio. Los turnos de trabajo de los conductores por las circunstancias del servicio tienen una gran variabilidad que distan bastante de los turnos de trabajo de oficina, comienzan a horas muy dispares, la duración y los descansos son variables, en otras palabras están condicionados por las necesidades del servicio. Dentro de estos condicionantes las personas suelen valorar positivamente los siguientes aspectos y por este orden en el trabajo:

- Descansar el mayor número de días coincidente con festivos. A favor es que el servicio suele ser menor en estos días aunque por el contrario hay que dar servicio los 365 días del año y en algunos casos las 24 horas.
- Que la prestación se haga en la misma parte del día el mayor número de días consecutivos posible.
- Que la hora de inicio y fin de los turnos sean igual por periodos de tiempo.
- Que la jornada diaria sea lo más homogénea en duración y próxima al máximo legalmente establecido.
- Que no cambie el servicio de línea ni en el día ni en periodos de tiempo.

- Que se compense adecuadamente los cambios en las condiciones anteriores.

Evidentemente estas condiciones no se pueden mantener en todos los casos y por ello habrá que establecer métodos de asignación que den prioridad a estos aspectos mencionados y que los turnos que no cumplan estas condiciones tengan algún tipo de compensación que no tiene que ser monetaria exclusivamente. Hay que buscar el difícil equilibrio entre coste y rendimiento.

No existe un método aplicable a todas las operaciones ya que puede el sistema puede variar según el número de empleados y la confección de los propios turnos, lo que si es recomendable es establecer una planificación de trabajo a una semana, dos, tres, etc. ó cíclico que contemple en cada programación los turnos de trabajo y los días libres. Más adelante se verá un ejemplo que ayudará a entenderlo mejor.

Como se ha comentado depende del número de empleados ya que si el número es pequeño habitual es hacer una rotación conductores por la programación a nivel de horario y a nivel de prestación (mañana, tarde o noche). Si el número de empleados es elevado se puede hacer una programación que premie antigüedad en la empresa de tal forma que un empleado que acaba de incorporarse tiene un alto nivel de rotación y variabilidad y cuando hay nuevas incorporaciones empieza a ganar estabilidad y según pasa más tiempo puede llegar a elegir el turno de trabajo que más le gusta. Esto solo es posible cuando la plantilla tiene una mínima renovación anual por jubilaciones.

El otro condicionante es la confección de los propios turnos, si se puede intervenir en toda la confección del horario es posible adaptar los turnos con el mayor número de jornadas están-