ANEXO Nº 6.

FUNCIONALIDAD Y EXPLOTACIÓN

1 ANTECEDENTES 1
1.1 Costes de mantenimiento de trenes 1
1.2 Costes de mantenimiento de infraestructuras 1
1.3 Costes de operación 2
2 Funcionalidad y operación 3
2.1 Metodología 3
2.2 Criterios para el dimensionamiento básico del servicio 5
2.2.1 Consideraciones previas 5
2.2.2 Conceptos básicos considerados 7
2.3 Modelo de operación 8
2.3.1 Estaciones Cabecera. 8
2.3.2 Tiempos de cabecera 9
2.3.3 Calculo de frecuencia 9
2.3.4 Tiempo de ciclo 9
2.3.5 Trenes necesarios 10
2.3.6 Prognosis de demanda de viajeros 10
2.3.7 Distribución horaria de la demanda 11
2.3.8 Estimación de la frecuencia en hora punta 11
2.4 Dimensionamiento de infraestructuras 12
2.4.1 Calculo de materiales en circulación 12
2.4.2 Producción 12
2.4.3 Cálculo de material rodante total necesario 12
3 Anexo 14
3.1 Costes de Inversión 14
3.2 Costes O&M y dimensionamiento de trenes 14

1 ANTECEDENTES

Descripción de la metodología de cálculo de los costes de operación y mantenimiento así como dimensionamiento de la flota de trenes. Este proceso se realiza para cada escenario de demanda analizado.

Los costes de O&M indicados en la documentación facilitada son anuales en millones de pesos 2013.

Respecto a la información de los trenes, el número de trenes representa la evolución del número de trenes en el tiempo según el modelo de dimensionamiento empleado en el estudio, y que se resume en el apartado **2.4.3 Cálculo de material rodante total necesario**.

Ello determina la inversión necesaria para su adquisición a lo largo de los 30 años considerados en el estudio.

1.1 Costes de mantenimiento de trenes

El mantenimiento de trenes, varía en función del volumen de kilómetros realizados por cada unidad, y se ha considerado un valor media acorde con el esquema de mantenimiento establecido en el modelo operacional de dimensionamiento empleado en el estudio, y que se resume en el apartado **2.4.3 Cálculo de material rodante total necesario**.

La evolución anual del coste unitario por tren varía en función del volumen de kilómetros realizado por cada unidad de tren.

Por tanto la evolución del coste de mantenimiento del material rodante por escenario varía a lo largo del tiempo para cada escenario de demanda.

1.2 Costes de mantenimiento de infraestructuras

El nuevo cálculo se ajusta a las infraestructuras asociadas a los escenarios de demanda, considerando ratios de costes de explotaciones similares en servicio.

1.3 Costes de operación

Los costes de operación de la explotación ferroviaria varían en función de las plazas ofertadas, que dependen de la demanda y la capacidad de las unidades tren, y el parámetro de costes considera una explotación de altas prestaciones en servicio en Europa en un corredor equivalente.

2 FUNCIONALIDAD Y OPERACIÓN

Este apartado describe la metodología, hipótesis y cálculos realizados para abordar el dimensionamiento de la infraestructura básica para el Proyecto de Factibilidad para la Construcción y Explotación de la línea México DF – Querétaro.

2.1 Metodología

En el Esquema adjunto se recoge la metodología aplicada para el dimensionamiento de las infraestructuras complementarias al trazado de vía.

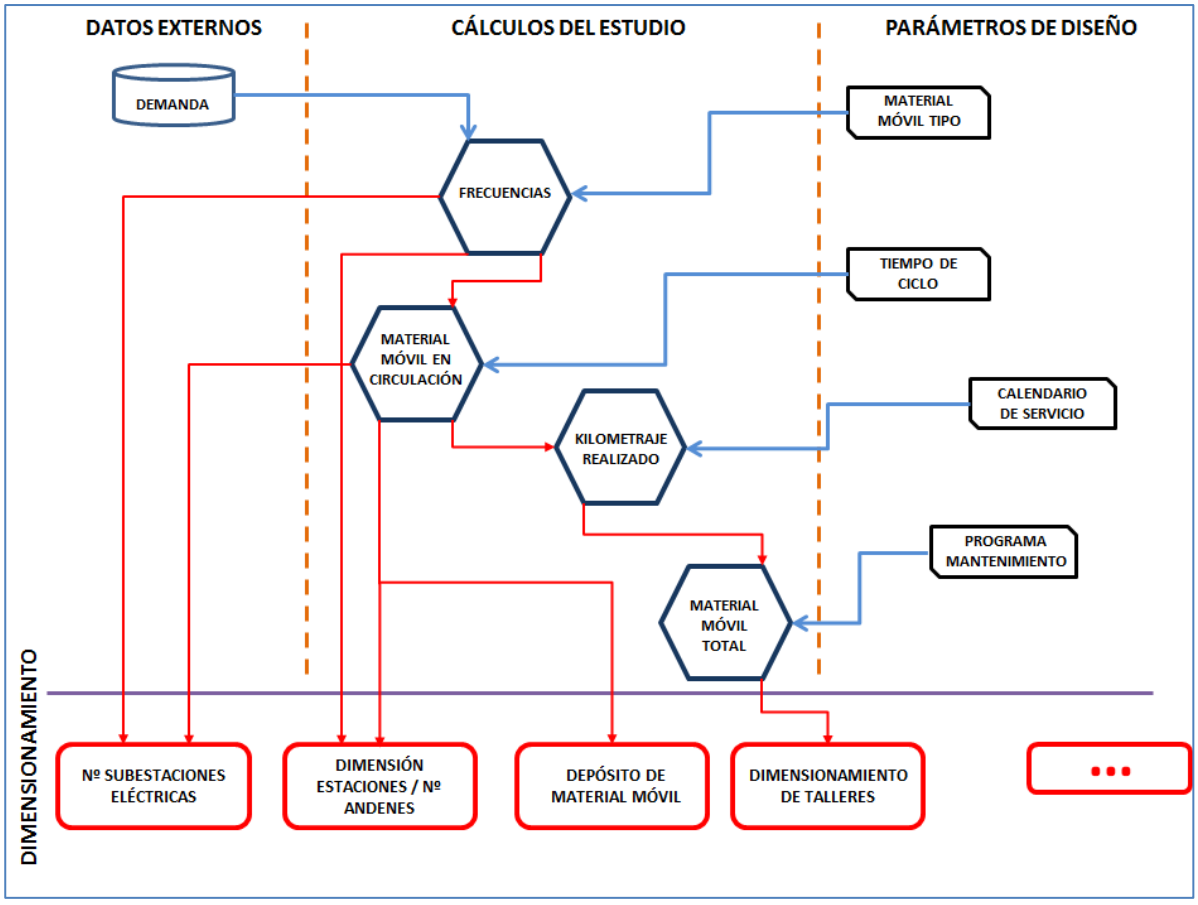
El punto de partida es la prognosis de viajeros, estudio de demanda, realizado para la planificación de la infraestructura, que debe realizarse con previsión de capacidad a largo plazo, más de 30 años.

Con este dato de entrada y con el material móvil definido, es decir, la capacidad de transporte de viajeros por unidad, se establece la frecuencia de circulación de trenes necesaria para atender la demanda en cada franja horaria.

Este cálculo se realiza para el momento de máxima demanda, analizada ésta por periodos mensuales, diarios y horarios.

El siguiente paso consiste en determinar el número de unidades en circulación que se necesitan para atender el modelo diario de servicio, este cálculo es función no sólo de la estacionalidad de la frecuencia, perfil diario de la demanda, sino también del tiempo de ciclo a considerar en función de las fases de desarrollo de la infraestructura.

A continuación es posible conocer el volumen de kilómetros que se realizan a lo largo de del tiempo. De esta forma, mediante el programa de mantenimiento definido para el material móvil seleccionado, se determinan las necesidades de material móvil adicional para garantizar en todo momento el servicio a los clientes.



Esquema.- Metodología de dimensionamiento

Con todas estas variables calculadas podemos establecer correctamente el dimensionamiento de elementos clave en esta infraestructura de transporte como son:

- El número, la ubicación y potencia instalada de las subestaciones eléctricas necesarias para la energía de tracción.
- Las capacidades necesarias en las estaciones, vías auxiliares y número de andenes que permitan el flujo de trenes planificado.
- La ubicación y capacidad de las cocheras para la protección y correcta gestión de la operación de trenes en función de la estacionalidad de circulaciones a lo largo del día y semana.

- Las instalaciones de talleres de mantenimiento acordes al volumen de unidades y el programa de mantenimiento definido.

2.2 Criterios para el dimensionamiento básico del servicio

2.2.1 Consideraciones previas

El proyecto considera el acceso a México DF a través de la estación de Buenavista actualmente en explotación por el SISTEMA 1 del tren suburbano del estado de México.

El SISTEMA 1 es un tren suburbano dotado de sistemas de señalización y control, ERTMS nivel 1, que le permiten alcanzar actualmente frecuencias de 6 minutos en hora punta.

En relación a **la estación de Buenavista** la infraestructura de andenes tiene una longitud máxima de **300 metros**, representando **una limitación** para el diseño del nuevo servicio de altas prestaciones México DF – Querétaro.

En cuanto al número de vías y andenes, la estación de Buenavista tiene actualmente operativas 4 vías y utiliza 4 andenes. La capacidad de la estación permite equiparla hasta con 4 vías adicionales con 2 andenes dedicados, todo ello sería dedicado a la nueva infraestructura.

Por otro lado, frecuencia y capacidad son dos atributos del producto muy relacionados entre sí, pero que no deben confundirse. Si en una ruta se desea ofrecer un cierto número de plazas al día, ello puede hacerse con un determinado número de trenes de una cierta capacidad, o el doble de trenes con la mitad de capacidad cada uno. En ambos casos, la oferta de plazas es la misma, aunque la frecuencia en el segundo caso es doble que en el primero.

Las razones por la que suelen confundirse frecuencia y capacidad son las siguientes:

- Es muy frecuente que se empleen en una ruta determinada unidades de un número constante de plazas, por lo que un aumento de la frecuencia supone normalmente un aumento correlativo de la capacidad.

- Por contra, si sólo se dispone de un único tipo de unidad (que no puede circular en doble composición), únicamente puede aumentarse la capacidad incrementando la frecuencia.

- Como un aumento de frecuencia implica un aumento del número de viajeros transportados, suele ser preciso incrementar a su vez la capacidad total del sistema para poder hacer frente a este aumento de la demanda inducido por el aumento de la frecuencia.

Asimismo, el tiempo valorado por el viajero es el tiempo total, que incluye la espera hasta que se ofrece una oportunidad de viaje, y por tanto, se ve afectado por la frecuencia de servicios ofertada.

Un aumento de la frecuencia, reducción del intervalo, garantiza una reducción en el tiempo de espera y consecuentemente un menor tiempo total de viaje entre origen y destino que es percibido por el viajero como una mejora.

Adicionalmente, gana competitividad con otros modos de transporte y permite extender el área de influencia competitiva del servicio ferroviario, permitiendo incrementar la demanda de nuevos clientes.

Por ello, en servicios de alta velocidad, se tiende a valorar mucho la frecuencia, y en consecuencia, a reducir la capacidad unitaria de cada vehículo. Además, debido a la estacionalidad de la demanda a lo largo del día y del año, se obtienen ventajas económicas con vehículos de menor tamaño.

Considerando los aspectos señalados anteriormente y la experiencia de los distintos servicios existentes de alta velocidad en Europa, para este estudio tomamos en consideración una configuración básica de tren con una longitud de **200 metros** y capacidad media de **400 pasajeros**.

Una configuración con unidades tren de estas características permite una mayor adaptabilidad a la demanda mediante el incremento de frecuencias. Más aún cuando, como en este caso,

no es posible la configuración de doble composición, debido a la limitación en la longitud de los andenes de la estación cabecera de Buenavista.

A lo largo de este estudio de dimensionamiento, la determinación de la frecuencia se basa únicamente en el **Volumen de viajeros a transportar en el periodo considerado y a capacidad de material móvil constante.**

En ese mismo sentido, al objeto de dimensionar la infraestructura se ha considerado un escenario **mínimo** con frecuencia de 60 minutos, 1 tren cada hora, en la franja horaria de servicio, si bien en la fase de definición de servicios en explotación se deberán aplicar los criterios finales definidos por la política comercial.

Ahora bien, en función de la demanda considerada, puede sr preciso la modificación de la infraestructura, trazado de vías y estaciones, para **permitir la circulación de trenes en doble composición, 400 metros de longitud, y una capacidad de 800 pasajeros,** en cuyo caso se deben actualizar las inversiones asociadas.

2.2.2 Conceptos básicos considerados

- Modo de operación en V

  Se entiende por operación en V, aquella operación en la que todos los trenes realizan una única circulación/carrusel, en este caso concreto, a efectos de operación es una única línea.

- Estación de cabecera:

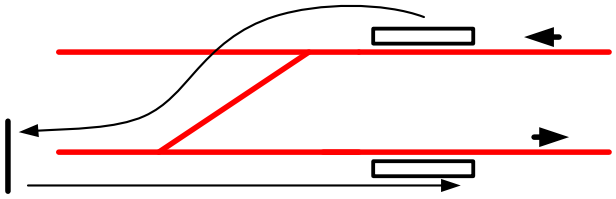
  Es aquella estación que se encuentra situada en el extremo de una línea ferroviaria.

- Tiempo de cabecera:

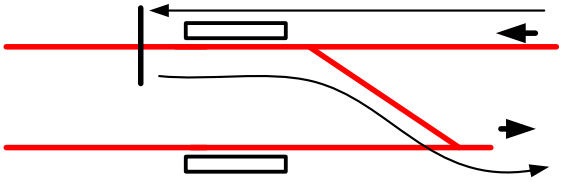
  Es el tiempo que transcurre desde el fin de una circulación y el principio de la siguiente. Este tiempo de cabecera comprende las siguientes maniobras:

  - Situación 1: Maniobras en el lado opuesto al de llegada a la estación, “maniobras por detrás”

- Itinerario de maniobra de ida a través del aparato de vía hasta la posición de fin de maniobra
- Cambio de cabina del Personal de Conducción
- Itinerario de maniobra de vuelta a través del aparato de vía hasta el anden



- Situación 2: Maniobras en el lado de llegada a la estación, “maniobras por delante”
  - Cambio de cabina del Personal de conducción (1)
  - Itinerario de salida a través del aparato de vía hasta la vía contraria



(1) El tiempo de cabecera en la situación 2 se restringe al tiempo de cambio de cabina por parte del personal de conducción, si bien la cabecera no se da por terminada hasta que el conductor completa el resto de maniobras.

- Coeficiente de hora punta:

Se define como el porcentaje de viajeros durante la hora de máxima carga de viajeros del día.

2.3 Modelo de operación

2.3.1 Estaciones Cabecera.

Se definen las siguientes estaciones Cabecera:

- Buenavista

- Querétaro – Bernardo Quintana

Esta última se considera provisional hasta la construcción de la estación definitiva en Querétaro.

2.3.2 Tiempos de cabecera

Los tiempos de cabecera considerados para el estudio los obtenemos de los cálculos realizados con una velocidad de maniobra de 15 km/h.

Sin embargo, en este tipo de servicio de larga distancia requiere adicionalmente de un acondicionamiento de limpieza y restauración de las unidades para su utilización posterior, y por ello se han considerado un tiempo adicional de 18´ en Querétaro.

A efectos de cálculo se considera el mismo tiempo de cabecera en Buenavista.

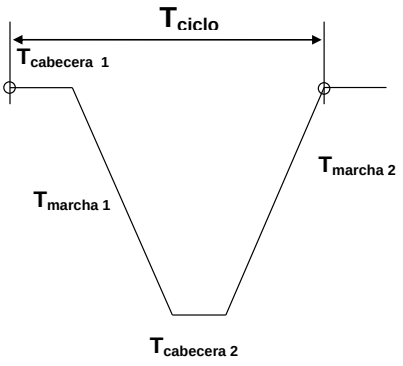
2.3.3 Calculo de frecuencia

En esta fase de estudio se calcula la frecuencia con el fin de **ajustarse a la demanda prevista,** partiendo del dato de demanda diaria y a través del perfil diario de demanda considerado, se establece la frecuencia adecuada en cada tramo horario.

2.3.4 Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo se define como el tiempo necesario para que un tren complete los itinerarios de ida y vuelta, considerando los tiempos de maniobra en cada una de las cabeceras, de tal forma que la unidad vuelva a estar disponible para el servicio.

Gráficamente puede verse en el Esquema mostrado a continuación:



Esquema – Tiempo de Ciclo

2.3.5 Trenes necesarios

El cálculo de los trenes necesarios se ha realizado en base a la siguiente fórmula:

N = Tciclo / Intervalo

N = (tcabecera1 + (tmarcha1 + tmarcha2) + tcabecera2) / Intervalo

El número de trenes necesarios se obtiene redondeando el resultado de esta fórmula al número entero superior.

El número de materiales depende tanto del tiempo de recorrido como del tiempo de cabecera en Buenavista y Querétaro.

Asimismo, para el cálculo del número de materiales existe una relación entre el periodo de duración de un intervalo dado y el tiempo de ciclo, como puede verse en el apartado 2.4.1 Cálculo de materiales en circulación.

2.3.6 Prognosis de demanda de viajeros

En esta fase se consideran los datos de demanda facilitados por MODELÍSTICA considerados para el estudio Coste/Beneficio <u>únicamente</u> para el tramo México DF – Querétaro:

Adicionalmente, cabe recordar que se operará en “V”, con lo que las frecuencias en ambas líneas habrán de ser iguales, por ello y a efectos de cálculos éstos se realizarán por sentido.

2.3.7 Distribución horaria de la demanda

De la experiencia de líneas en servicio y de los datos aportados, se han extraído los porcentajes de viajeros transportados por horas aplicados en este estudio.

El perfil considerado recoge un escenario con la punta “ferroviaria“ a primera hora, entre 7:00 y 9:00 y una punta adicional acusada sobre las 19:00 horas.

El perfil aplicado en el modelo es el siguiente:

- Lunes a Viernes laborable: Coeficiente de hora punta para la línea **9 %**

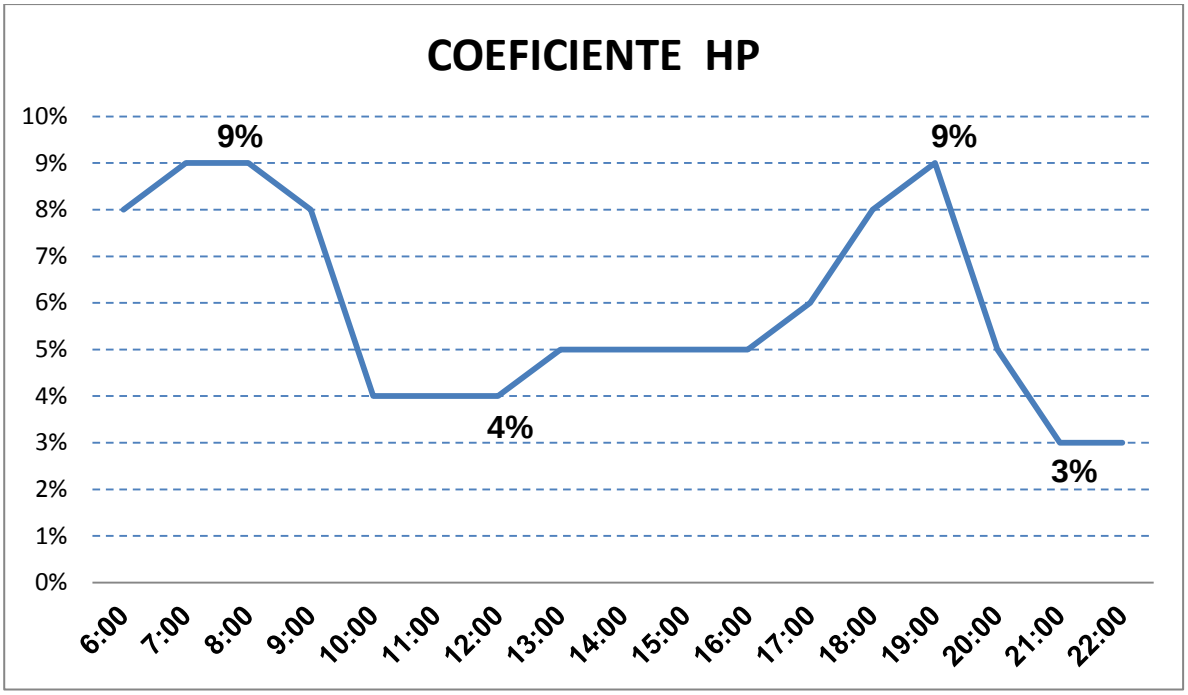


Gráfico – Perfil horario de demanda

2.3.8 Estimación de la frecuencia en hora punta

Método de cálculo

- Primeramente se procede a calcular el número de viajeros para la hora punta (HP),
- La frecuencia en HP estimada en función de la demanda viene determinado por el número de viajeros dividido por la capacidad del tren considerado.

2.4 Dimensionamiento de infraestructuras

2.4.1 Calculo de materiales en circulación

Los valores del material en circulación vienen condicionados por la frecuencia máxima de servicio en Hora Punta (HP) y el tiempo de ciclo definido anteriormente.

Una vez establecida la frecuencia máxima en HP para cada año en función de la demanda y el perfil de la demanda se calcula el material en circulación necesario.

2.4.2 Producción

Se realiza a continuación el cálculo de los kilómetros producidos a lo largo de cada año en función del servicio prestado para la demanda establecida.

Posteriormente, procedemos al cálculo del número de circulaciones totales diarias.

De esta forma podemos calcular las necesidades de material móvil derivadas del programa de mantenimiento preventivo considerado.

2.4.3 Cálculo de material rodante total necesario

Como ya se ha indicado anteriormente, el número de kilómetros determina el grado de uso de una unidad.

Por ello, es determinante el control del número de kilómetros realizado por cada unidad, y este parámetro hemos visto que depende del Tiempo de Ciclo, es decir, de las opciones de puesta en servicio de la línea Buenavista – Querétaro.

Por otro lado, se ha considerado un programa de mantenimiento empleado en líneas en servicio actualmente, si bien éste debe ser definido conforme a las especificaciones del material móvil que finalmente se adquiera.

El programa de mantenimiento preventivo considerado en el análisis establece 7 niveles de intervenciones, las cuales vienen determinadas por la periodicidad, medida en kilómetros,

entre las distintas intervenciones. El otro parámetro básico en el programa de mantenimiento considera para cada una de las tipologías de intervenciones la duración de cada una de las intervenciones.

Las distintas tipologías de mantenimiento contemplan desde la vigilancia en servicio, la verificación de órganos de seguridad (ejes, frenos,…), la verificación en vías de trabajo, limpieza exterior, etc., pasando a conservación de alto nivel y operaciones especializadas que implican retirada del servicio.

Se mantienen estos criterios a lo largo del periodo de explotación, adecuándose al número de kilómetros por unidad.

Finalmente podemos establecer **el dimensionamiento total del material rodante necesario**, considerando tanto la necesidad de servicio, unidades en circulación, como las unidades correspondientes al mantenimiento preventivo evaluado en este estudio, obteniendo los resultados indicados.

3 ANEXO

3.1 Costes de Inversión

	Costo Inversión (sin IVA)				
Actividad	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**Total**
Infraestructura	2.626.539.647,84	4.202.452.267,62	8.930.223.633,73	10.506.147.422,43	26.265.362.971,61
Vía	-	-	792.349.553,31	3.169.388.150,13	3.961.737.703,44
Electrificación	-	-	349.832.942,94	1.982.394.527,95	2.332.227.470,90
Seguridad y Telecomunicaciones	-	-	417.515.851,33	2.365.913.973,11	2.783.429.824,45
Material Móvil (*)	-	-	-	-	-
Talleres y cocheras (**)					
Derecho de vía	337,80	225,20	-	-	563,00
TOTAL	**2.764.072.942,31**	**4.422.503.431,26**	**10.957.528.617,56**	**18.573.969.276,47**	**36.718.066.205,60**

	Costo Inversión (con IVA)				
Actividad	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**Total**
Infraestructura	3.046.785.991,49	4.874.844.630,44	10.359.059.415,12	12.187.131.010,02	30.467.821.047,07
Vía	-	-	919.125.481,84	3.676.490.254,15	4.595.615.735,99
Electrificación	-	-	405.806.213,81	2.299.577.652,42	2.705.383.866,24
Seguridad y Telecomunicaciones	-	-	484.318.387,55	2.744.460.208,81	3.228.778.596,36
Material Móvil (*)	-	-	-	-	-
Derecho de vía	391,85	261,23	-	-	653,08
TOTAL	**3.046.788.397,34**	**4.874.846.906,67**	**12.168.311.514,33**	**20.907.661.142,40**	**40.997.599.898,74**

(*) Coste de Material Móvil varía en función del escenario de demanda contemplado. Ver el fichero Resultados V1.xls enviado por Iñaki (estos costes son sin IVA)

(**) Coste de talleres y cocheras varía en función del escenario de demanda contemplado. Ver el fichero Resultados V1.xls enviado por Iñaki (estos costes son sin IVA)

3.2 Costes O&M y dimensionamiento de trenes

Donde aparecen tanto los costes de operación y mantenimiento para los escenarios propuestos por Modelística, como el dimensionamiento de los trenes necesarios para atender dicha demanda y las inversiones necesarias en trenes e infraestructuras para la correcta prestación del servicio.