

Alamys

Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos

GUÍA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS METROFERROVIARIOS

GUÍA PARA LA *GESTIÓN DE PROYECTOS METROFERROVIARIOS*



COMITÉ EDITORIAL

Secretario General: Roland Zamora V.

Jefe de Secretaría General: Constantin Dellis.

Ingeniera de Estudios: Fernanda Carrillo C.

Editora general: Daniela Barría R.

Consultor externo: José Barboza M.

Asistente Secretaría General: Karen Ahumada S.

Diseño: Motif Diseño y Comunicación.

Santiago, Chile. 2018. Todos los derechos reservados ALAMYS

Secretaría General de ALAMYS

Av. Libertador Bernardo O'higgins 1414, Santiago, Chile.

Mail: secretaria@alamys.org

Teléfono: +56 2 2937 3276

Documento disponible gratuitamente *(sólo para socios con Usuario y Contraseña)* en: **www.alamys.org**

En el caso de No Asociados, se debe escribir al correo electrónico de la Secretaría General.

La reproducción de cualquier contenido de este documento, sólo debe realizarse citando la fuente respectiva y autoría de ALAMYS correspondiente, y notificando a secretaria@alamys.org.

TABLA DE **CONTENIDOS**

1

Introducción 5

2

Contexto Iberoamericano 9

3

Planificación 17

3.1. Análisis legal previo y cronograma del proyecto 19
3.2. Análisis del entorno (expansión urbana) 25
3.3. Estudio de demanda 34
3.4. Análisis de alternativas 41
3.5. Selección de métodos constructivos 43
3.6. Presupuesto referencial 46
3.7. Flujo financiero 49
3.8. Relaciones comunitarias y Medio Ambiente 51
3.9. Conclusiones 55

4

Modelo de Negocio y Financiamiento 57

4.1. Consideraciones previas a la selección de un Modelo de Negocio 59
4.2. Tipos de Modelo de Negocio existentes 64
4.3. Casos de Modelo de Negocio existentes en ALAMYS 68
4.4. Conclusiones 73

5

Construcción 75

5.1. Consideraciones previas 77
5.2. Ingenierías del proyecto en la etapa de construcción 90
5.3. Planificación de la ejecución del proyecto 101
5.4. Construcción de obras civiles 108
5.5. Sistemas y equipamientos 153
5.6. Interfaces 160
5.7. Relaciones con la comunidad y Medio Ambiente 162
5.8. Conclusiones 164

6

Operación 167

6.1. Etapa de diseño del Modelo Operacional 169
6.2. Etapa de Puesta en Marcha 177
6.3. Etapa de explotación 183
6.4. Relaciones con la comunidad y Medio Ambiente 180
6.5. Conclusiones 191

7

Conclusiones generales 193

8

Glosario 197

9

Bibliografía 203

10

Agradecimientos 207





1. INTRODUCCIÓN

Como respuesta a la necesidad de poner en común inquietudes y experiencias del sector metroferroviario, y con los antecedentes y el ejemplo de otras organizaciones internacionales, en 1986 se firmó un acuerdo del que resultó, un año después, la primera reunión y constitución oficial de la Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos (ALAMYS) en Caracas, Venezuela, a la que han sido invitadas entidades de Latinoamérica y de la Península Ibérica que operasen sistemas ferroviarios metropolitanos de transporte masivo de pasajeros, denominados "Socios Principales". Con el tiempo, también fueron integrándose empresas proveedoras de productos y servicios del rubro a nivel mundial, categorizados como "Socios Adherentes".

Hoy, tres décadas más tarde, a inicios de 2018, ALAMYS registra 45 Socios Principales y 42 Socios Adherentes que, en conjunto, explotan más de 2.600 kilómetros de vías de proyectos de metro, tranvías y trenes suburbanos en sus distintas modalidades: de superficie, subterráneos, viaductos y soluciones mixtas.

El principal objetivo de ALAMYS ha sido, y seguirá siendo, en su esencia, el compartir experiencias y promover conocimientos que lleven a implementar mejores prácticas entre sus miembros, permitiendo el desarrollo y la implementación de sistemas de transporte masivo sobre rieles, contribuyendo así a la calidad de vida de los habitantes y a la movilidad sostenible de ciudades de la región.

Con todo, durante la última década se ha vivido un importante crecimiento del ámbito metroferroviario en Latinoamérica, España y Portugal. Algunos de éstos proyectos son: la inauguración en Lima, Perú, de la primera línea del metro, en 2012; el comienzo de operaciones de la Línea 1 del Metro de Panamá, en Ciudad de Panamá, en 2014, la actual construcción de la Línea 2, y la planificación de la Línea 3; la apertura al público de la Línea 1 del Metro de Málaga, España, en 2014; o el caso de la inauguración de la Línea 6 del Metro de Santiago, Chile, en 2017, mientras se construía simultáneamente la Línea 3.

No obstante, el sostenido desarrollo de modos de sistemas de transporte sobre rieles es aún insuficiente, dado el crecimiento extraordinario en Latinoamérica de la demanda generada por el aumento constante de la población urbana. "La urbanización a escala global es irreversible, alcanza hoy más del 50% de la población; será del 75% en 2050, siguiendo los pasos de una América Latina voraz que en 65 años pasó del 40% a más del 80% actual" (Banco Mundial, 2017).

El gran crecimiento de la población urbana en las ciudades Latinoamericanas y, en general, la necesidad de incrementar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades mediante experiencias satisfactorias de viaje, con menores tiempos de desplazamiento y en situación de confort; crean una oportunidad para los asociados de ALAMYS, quienes comparten la premisa de que los proyectos de metro son la herramienta eficaz para el logro de estos objetivos.

Así, la oportunidad surgida en la necesidad de disminuir la brecha entre demanda y oferta por servicios de transporte público, con altos estándares de servicio, origina también un desafío: cómo sería un desarrollo de proyectos de metro eficientes, que incorpore lo mejor del estado del arte, tanto en la expansión de redes existentes, como en áreas que ven la necesidad de incorporar este modo al sistema de transporte.

El crecimiento de proyectos en las distintas redes ya mencionadas y la diversidad de enfoques (ya sea sobre el modelo de negocio; las decisiones de construcción: túnel, elevado, etc.; financiar todo con un gran contrato o varios de ellos; la definición del modelo de operación y su relación con equipos y sistemas propios o de terceros, etc.), ha hecho que cada uno de los Socios Principales de ALAMYS se enfrente a una permanente inquietud: ¿estamos tomando las mejores decisiones o revisando en forma amplia todas las alternativas a la hora de planificar un proyecto metroferroviario?

ALAMYS- consiente de este desafío- creó el Grupo de Gestión de Proyectos (GGP) con el

objetivo de profundizar estas discusiones, pero no necesariamente a través de la formulación de una "receta" sobre cómo gestionar de proyectos, sino de la amplitud de la visión del estado del arte y de cómo podemos seguir aprendiendo de otros.

Así, el GGP fue conformado tras la invitación hecha por la Secretaría General de ALAMYS a sus Socios Principales, para participar voluntariamente en primera instancia. De esta forma, en 2016, fueron nueve de ellos quienes respondieron al llamado: Metro de Medellín (Colombia), Metro de Quito (Ecuador), Línea 1 Metro de Lima (Perú), Metro de Santiago (Chile), Metro Río (Brasil), Autoridad Autónoma de Transporte Eléctrico- AATE (Perú), Autoridad de Transporte Metropolitano de Barcelona - ATM (España), Subterráneos de Buenos Aires (Argentina) y Metro de Madrid (España).

Con el correr del tiempo- y al avanzar el proceso de trabajo- se estableció la necesidad de incorporar otras perspectivas, tras lo cual se extendió la convocatoria a integrar el Grupo a Socios Adherentes y entidades multilaterales, inscribiéndose voluntariamente en 2017: Ingerop, CITEF, Stadler, Egis, Thales, Ineco, Giro; y Lima Cómo Vamos, Banco de Desarrollo de América Latina- CAF, Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo- BID, respectivamente.

En conclusión, durante tres años este Grupo tuvo la misión de recolectar y generar la información necesaria para cumplir con el objetivo propuesto, sosteniendo para ello reuniones en distintas ciudades de Iberoamérica, analizando documentos en profundidad, discutiendo las diferentes experiencias de cada uno, y consolidando finalmente sus conclusiones en la presente "Guía para la Gestión de Proyectos Metroferroviarios".

El objetivo de la Guía, entonces, es ampliar la mirada a diversas experiencias, donde podamos identificar las claves de éxito y desafíos que los socios de ALAMYS y desarrolladores externos han encontrado a la hora de materializar sus proyectos metroferroviarios, en todas las etapas que involucra la gestión de estos sistemas: Planificación, Modelo de Negocios y Financiamiento, Construcción y Operación, atendiendo en cada una la transversalidad de la necesidad de un adecuado relacionamiento con la comunidad y la ejecución de proyectos sustentables.

Así, los objetivos específicos de la publicación de esta Guía, son:

a. Analizar el contexto iberoamericano en que se desarrolla la gestión de los proyectos de metro, exponiendo el explosivo, pero aún insuficiente, auge de este modo de transporte.

b. Exponer las principales consideraciones a tener en cuenta en la etapa de Planificación de los proyectos, incluyendo el análisis del entorno, estudio de demanda, diseño y selección de métodos constructivos, entre otras.

c. Analizar los principales alcances necesarios para definir el Modelo de Negocios y Financiamiento de un proyecto de este tipo.

d. Analizar y exponer el estado del arte en los procesos de Construcción de proyectos.

e. Estudiar los principales aspectos a considerar en la etapa de Operación de los proyectos de metro, atendiendo a la especificidad de los distintos modelos operacionales.

f. Relevar la importancia de las Relaciones con la Comunidad y Medio Ambiente en cada una de las etapas anteriormente mencionadas.

Con todo, esta Guía se desarrolla a partir de algunas definiciones de contexto importantes de relevar desde un principio y, posteriormente, expone la experiencia de los miembros del GGP en las materias específicas ya mencionadas.


11:48 AM
¿BUSCAS
Ayudarle con la tarea
te cuesta poco.
Vota este
7 de junio
NO FUMAR



2. CONTEXTO *IBEROAMERICANO*

La tendencia de crecimiento de las ciudades en el mundo pareciera ser inevitable, al menos para las próximas décadas. Conforme avanza el tiempo y las urbes se desarrollan, se ha constatado un aumento en la población innegable.

En nuestro continente, la situación no dista de ser diferente. En América Central, la tasa de urbanización pasó desde un 33,1% en 1950, a un 69,8% en 2010; mientras que en América del Sur, en los mismos años, la tasa aumentó de 42,5% a 81,5% (CELADE - División de población de la CEPAL., 2016), estimándose que para toda la región, en 2025, la cifra de población urbana será de 82,8% (CEPAL , 2002); todo esto, acompañado de una sostenida ampliación en el tamaño y densidad de las ciudades. Podríamos relevar, entonces, que algunas razones que explican este proceso, son:

- Crecimiento tendencial de la población
- Traspaso de población rural a zonas urbanas
- Mayor ingreso per cápita, que aumenta la demanda por mayor espacio

Este crecimiento redunda evidentemente en una mayor presión para desarrollar sistemas de transporte masivo eficientes y de calidad, que permitan así atender de manera adecuada las crecientes necesidades de movilidad de los y las habitantes de las ciudades (Figura 2.1).

En este sentido, es posible afirmar que, tanto globalmente, como para la mayor parte de Iberoamérica- región en la que nos enfocaremos como objetivo geográfico de estudio para la presente Guía- existen tres principales modalidades para atender las demandas de movilidad de la población: transporte privado, transporte público masivo y transporte activo (bicicleta y caminata).

Figura 2.1

"Evolución del transporte de personas y de carga"



Fuente: International Transport Forum de OCDE, 2011.

Al repasar la historia de los asociados a ALAMYS, el desarrollo de proyectos metroferroviarios se inició en 1863, con la construcción de la primera línea de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC), en Barcelona, España (Figura 2.2); y en 1867, con la creación de la Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) de São Paulo, Brasil.

Figura 2.2

"Línea 1 de FGC: unidad de tren en la calle Balmes de Barcelona, España"



Fuente: Spanish Railway, 2012.

A partir de estos hitos, se contabilizan más de 150 años de desarrollo y operación de líneas metroferroviarias de Iberoamérica, siendo los proyectos de construcción y/o expansión de Metro de Lima (Lima, 2012); Metro de Panamá (Ciudad de Panamá, 2012); Metro de Málaga (Málaga, 2014); Tren Central (Santiago de Chile, 2017); y la Línea 6 de Metro de Santiago (Santiago de Chile, 2017); junto a los proyectos Metro de Bogotá y Metro de Quito (actualmente en planificación y construcción de sus primeras líneas, respectivamente), los más recientes en concretarse.

Figura 2.3

"Línea 6 de Metro de Santiago, Chile, en 2017"



Fuente: La Nación, 2018.

Así, podemos afirmar que ha existido un explosivo aumento de proyectos metroferroviarios durante las últimas dos décadas en la región, especialmente en el Cono Sur americano, como se aprecia en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1

"Año de inauguración de metros, metros ligeros y tranvías asociados a ALAMYS"

OPERADORA	CIUDAD	AÑO INAUGURACIÓN
FGC	Barcelona, España	1863
CPTM	São Paulo, Brasil	1867
SBASE	Buenos Aires, Argentina	1913
Metro de Madrid	Madrid, España	1919
TMB	Barcelona, España	1924
Metro de Lisboa	Lisboa, Portugal	1959
STC - Metro CDMX	Ciudad de México, México	1969
Metrô São Paulo	São Paulo, Brasil	1974
Metro de Santiago	Santiago, Chile	1975
Metrô Rio	Río de Janeiro, Brasil	1979
Trensurb	Porto Alegre, Brasil	1980
TFM	Madrid, España	
Metro de Caracas	Caracas, Venezuela	1983
FGV- Alicante*	Alicante, España	1987
FGV- Valencia*	Valencia, España	1988
SITEUR	Guadalajara, México	1989
Metrorrey	Monterrey, México	1991
Metro de Medellín	Medellín, Colombia	1995
Metro de Bilbao	Bilbao, España	
Metro de Valparaíso	Valparaíso, Chile	
Supervia	Río de Janeiro, Brasil	1998
Metro do Porto	Porto, Portugal	2002
Trambaix**	Barcelona, España	2004
Trambesòs**	Barcelona, España	
Metro de Tenerife	Tenerife, España	2007
Tranvía de Parla	Parla, España	
Metros Ligeros de Madrid	Madrid, España	
Metro Ligero Oeste	Madrid, España	
OPRET	Santo Domingo, Rep. Dominicana	2009
Metro de Sevilla	Sevilla, España	
ViaQuatro	São Paulo, Brasil	2010
Tranvía de Murcia	Murcia, España	2011
Línea 1 - Metro de Lima	Lima, Perú	2012
Tranvía de Zaragoza	Zaragoza, España	2013
Metro de Panamá	Ciudad de Panamá, Panamá	2014
Metro de Málaga	Málaga, España	
Ferrocarriles Suburbanos de CDMX	Ciudad de México, México	
Tren Central	Santiago, Chile	
Tranvía de Ayacucho***	Medellín, Colombia	2016
VLT Rio	Río de Janeiro, Brasil	
Tranvía de Puebla	Puebla, México	2017
Metro Granada	Granada, España	2017

*Perteneciente al mismo Socio Principal: FGV.
** Perteneciente al mismo Socio Principal: TRAM.
***Perteneciente al Socio Principal: Metro de Medellín.

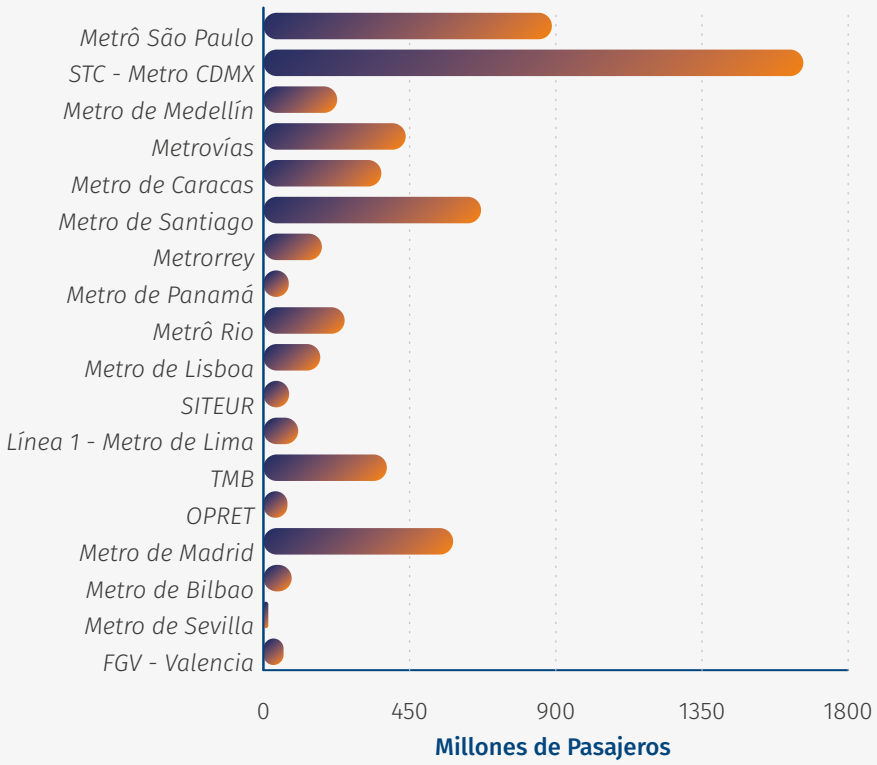
Fuente: ALAMYS[1]

1 Actualizado al primer semestre de 2018.

En total, las empresas de metros y trenes subterráneos asociadas a ALAMYS transportan anualmente más de 7.400 millones de pasajeros, en 2.603 km de vías (Figura 2.4 y Figura 2.5), de las cuales, 54% corresponde a soluciones tipo "metro" y 46% a "tren suburbano".

Figura 2.4

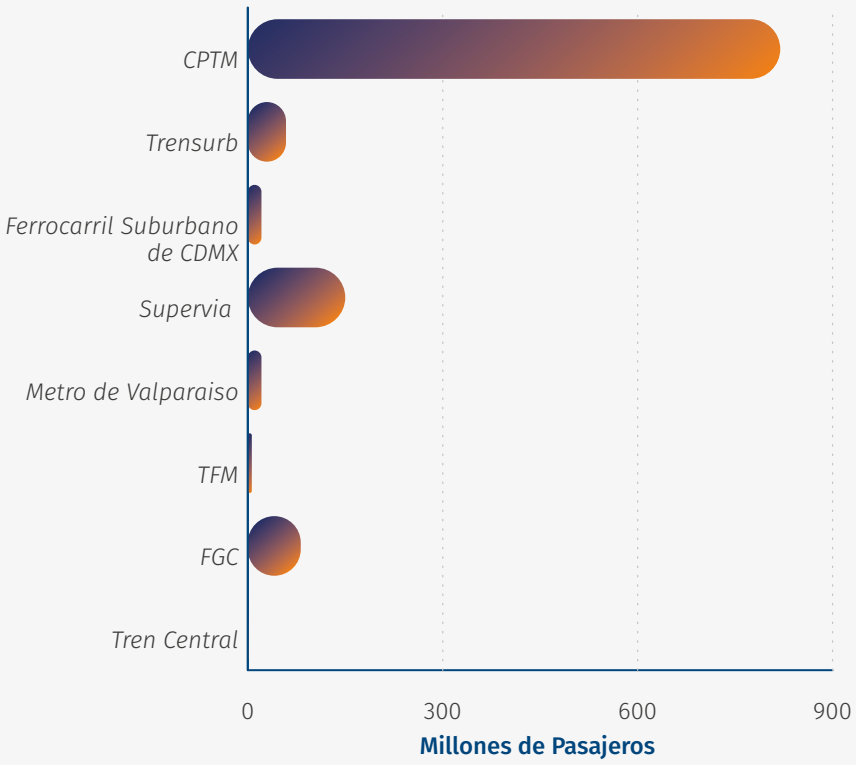
"Pasajeros anuales transportados en sistemas de metro, 2017"



Fuente: ALAMYS[2]

Figura 2.5

"Pasajeros anuales transportados en sistemas de trenes suburbanos, 2017"



Fuente: ALAMYS[3]

2 Actualizado al primer trimestre de 2018.

3 Ibídem.

Con todo, es correcto afirmar que el desarrollo de los proyectos de movilidad sobre rieles está asociado, por una parte, a la creciente demanda por servicios de transporte y, por otra, a las ventajas que estos sistemas presentan respecto de otros modos, las que se reflejan en indicadores de satisfacción del cliente, como se muestra en la Tabla 2.2.

Ésta, corresponde a una encuesta de satisfacción de usuarios de transporte público en la ciudad de Guangzhou, China, la que compara diferentes indicadores entre sistemas de transporte público masivo de autobuses tipo *Bus Rapid Transit* (BRT), buses y metro.

Tabla 2.2

"Satisfacción del usuario de transporte público en Guangzhou, China"

	BRT		BUS		METRO	
	PROMEDIO	RANKING	PROMEDIO	RANKING	PROMEDIO	RANKING
Satisfacción general	3,56	-	3,03	-	4,15	-
Costo de viaje	3,78	1	3,65	1	3,41	13
Facilidad de uso	3,55	2	3,14	5	4,04	4
Tiempo de viaje (Puerta a Puerta)	3,54	3	2,96	8	4,13	2
Evitar el estrés/ costo de usar auto (tráfico, estacionamiento, accidentes, otros)	3,47	4	3,15	4	3,68	11
Frecuencia	3,47	5	2,93	9	4,17	1
Conveniencia del servicio (te lleva a donde necesitas ir, estacionamientos, etc.)	3,46	6	3,17	2	3,87	8
Seguridad en estaciones o paraderos (accidentes y/o crimen)	3,45	7	2,98	7	3,98	5
Seguridad durante el viaje (accidentes y/o crimen)	3,44	8	3,07	6	3,92	7
Horas de servicio	3,41	9	3,15	3	3,85	9
Confiabilidad	3,39	10	2,92	10	3,98	6
Confort durante la espera	3,34	11	2,81	14	4,08	3
Confort durante el viaje	3,26	12	2,86	13	3,85	10
Atención al viajero	3,21	13	2,89	12	3,67	12
Otros viajeros (sentirse seguro, a gusto, compatible)	3,13	14	2,9	11	3,38	14

Fuente: World Society for Transport and Land Use, 2016, en ALAMYS, 2017.

Los indicadores señalan las ventajas del sistema metro, respecto a otros modos, con énfasis en: facilidad de uso, tiempo de viaje, frecuencia, seguridad en estaciones y confort durante la espera.

Sumado a esto, la conveniencia del desarrollo de proyectos de metros también se relaciona con el nivel de emisiones de los sistemas. Si bien en la actualidad existen estándares cada vez más exigentes para el transporte privado y los sistemas basados en buses propiamente tal, BRT y vehículos privados, los sistemas de metro, alimentados con energía eléctrica, presentan niveles significativamente menores de emisiones contaminantes (ALAMYS, 2017).

Otra ventaja tiene que ver con la relación entre proyectos de metro y el aumento en el valor de las propiedades aledañas a este tipo de sistemas. La mayoría de los estudios, basados en precios hedónicos, muestran un aumento del costo de las viviendas en torno a las estaciones de metro (ALAMYS, 2017).

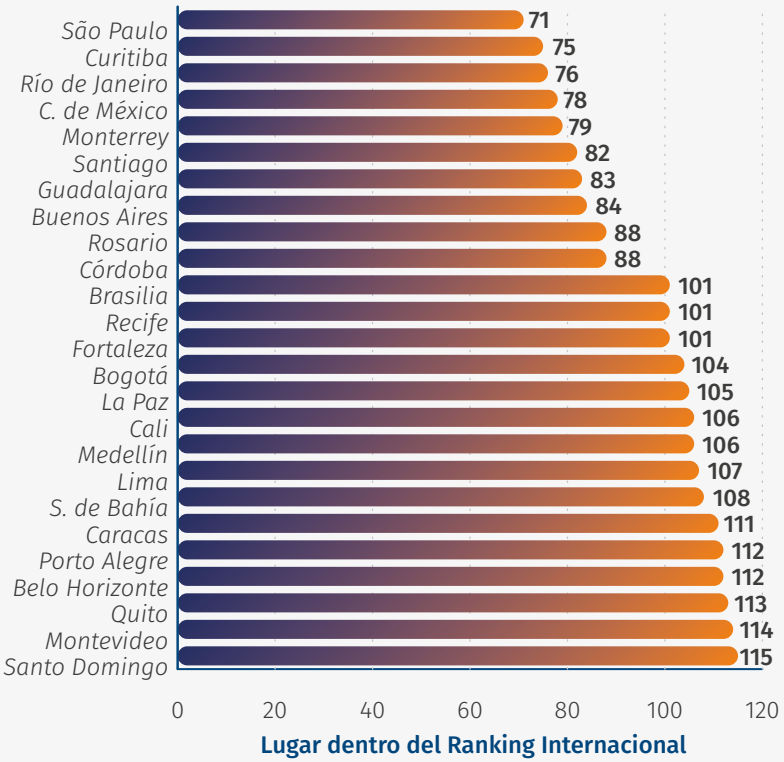
Adicionalmente, y en relación a los supuestos mayores costos de los sistemas de metro, éstos sólo corresponden básicamente a la mayor inversión de capital necesaria para la construcción, puesto que hay bastante evidencia de que el valor por pasajero transportado o "pasajero- kilómetro" es significativamente menor; lo que, unido a otras externalidades positivas como la seguridad que ofrece el metro, menores tiempos de viaje, aumento de la plusvalía de territorios aledaños a estos

sistemas y menores emisiones de contaminantes al Medio Ambiente, provocan que tales diferencias se pueden ver ampliamente superadas (ALAMYS, 2017).

Por otra parte, los proyectos de metro entregan un mejor servicio movilidad y transporte, ejes claves en la calidad de vida de la población. A nivel comparativo, es posible usar el ranking "Cities in Motion" de 2014[4]. En dicho listado se aprecia que São Paulo, en el ítem Movilidad y Transporte, está en la mejor ubicación de las ciudades latinoamericanas, pero aparece recién en el lugar 71 de 135 ciudades a nivel mundial, como se aprecia en la Figura 2.6.

Figura 2.6

"Ranking Movilidad y Transporte en Latinoamérica, 2014"



Fuente: IESE Cities in Motion Strategies, 2014.

Con todo, la tendencia de las grandes ciudades del mundo- y también de Latinoamérica- es de apostar por un transporte público que sea una alternativa efectiva al automóvil.

En resumen, en ALAMYS creemos que los sistemas de transporte público en metros y subterráneos tienen un amplio espacio de crecimiento, debido a las ventajas que presentan respecto de otros sistemas:

- Son más rápidos, confiables y seguros;
- Revalorizan las ciudades y aumentan la plusvalía en los entornos;
- Son sinónimo de alta eficiencia en el uso del espacio urbano y emisiones al medio ambiente y;
- Tienen menores costos económicos para la sociedad cuando se consideran todas sus externalidades.

Así, la presente Guía recoge las tendencias mundiales que aportan al desarrollo de las redes metroferroviarias futuras, entregando el conocimiento necesario a las autoridades y entidades que comienzan un nuevo camino hacia la correcta gestión de proyectos.

4 El ranking de "IESE Cities in Motion Strategies" evalúa ciudades en relación con diez dimensiones clave: Gobernanza, Planificación Urbana, Gestión Pública, Tecnología, Medioambiente, Proyección Internacional, Cohesión Social, Movilidad y Transporte, Capital Humano, y Economía. Está basado en evidencias empíricas de alto poder explicativo, y pensado en facilitar la interpretación de las características que hacen que una ciudad tenga un buen desempeño.





3. PLANIFICACIÓN

En el presente capítulo se tratan aquellos aspectos esenciales de la etapa de estudios y planificación de proyectos metroferroviarios, que se inicia con una decisión en el ámbito de la gobernanza, la cual considera las demandas de la ciudad expresadas en la estructura urbana y el entorno legal y normativo. Tomada la decisión, se efectúan análisis de las características del entorno y, posteriormente, el de las alternativas plausibles y su optimización, el diseño y la selección de los métodos constructivos; todo lo cual es cruzado por las relaciones con la comunidad y con los estándares medioambientales definidos por la legislación local (Figura 3.1).

Los principales componentes de la etapa de Planificación de los sistemas metroferroviarios son:

- Análisis legal.
- Análisis del entorno (expansión urbana).
- Estudio de demanda.
- Diseño.
- Análisis y optimización de alternativas de trazado.

Es claro que una dedicación exhaustiva a estas actividades redunda en un proyecto ampliamente estudiado, consensuado y necesario para la comunidad.

Figura 3.1

"Etapa de Planificación"



Fuente: ALAMYS 2018.

3.1 Consideraciones previas: análisis legal y cronograma del proyecto

Es evidente que la legislación aplicable para este tema es específica de cada país. Sin embargo, existen conceptos jurídicos generales que resultan comunes a los proyectos, independiente de su localización. La reglamentación aplicable depende en alto grado de la instancia administrativa que constituye el "promotor" del proyecto, ya que dicha función le puede corresponder a entidades nacionales, regionales/distritales o municipales, o una combinación de ellas, dependiendo también de la localización de la iniciativa. En cualquier caso, los asuntos legales deben ser materia de análisis desde la etapa de Planificación, ya que a ellos obedece –en buena medida- la factibilidad del proyecto.

Así, es importante- como objetivo inicial de este apartado- establecer las consideraciones jurídicas básicas, generales y de aplicación común para diversos escenarios, que deben tomarse en cuenta en la concepción de este tipo de iniciativas. Con todo, es relevante indicar que no se abordará de manera específica la legislación aplicable, ya que, como se ha dicho, corresponde al marco reglamentario de cada país.

Respecto al análisis legal, pueden darse dos situaciones que es necesario considerar. Por una parte, la existencia de sistemas metroferroviarios y un marco regulatorio; y, por otra, proyectos nuevos sin dicha delimitación jurídica.

En el primer caso, el análisis consistirá en la revisión de la legislación aplicable a fin de que ésta defina los estándares de cumplimiento del proyecto, y que podrían incidir en su diseño.

En cambio, si se trata de proyectos nuevos, se deberá iniciar por crear los mecanismos y leyes que permitan desarrollar la iniciativa, considerando que ello es ajeno al promotor de la idea, pues corresponde al ámbito de la gobernanza existente en el lugar.

En función de la estructura jurídica de cada país, se aplica el marco legal desde lo más general (leyes, reglamentos) hasta lo particular (normas, ordenanzas). Es deseable, adicionalmente, informarse de los proyectos de ley en curso de preparación o aprobación que pueden afectar al desarrollo del emprendimiento, con el fin de prever los riesgos e intentar gestionarlos de forma anticipada.

Así, para esta primera fase de revisión, se debe repasar todo en cuanto a los siguientes tópicos:



Autorizaciones: identificar a todos los organismos competentes que otorgan las autorizaciones y permisos para la realización del proyecto, ya que su gestión tiene directa incidencia en la estimación del cronograma inicial de la obra, entre otras cuestiones.



Ocupación del suelo: el trazado, y particularmente la ubicación de las estaciones, deben estar en concordancia con el uso de suelo permitido por la autoridad reguladora.



Ambientales y patrimoniales: en vista de que la reglamentación local puede restringir el paso de la línea o la ubicación de estaciones en superficie, o en razón de restricciones ambientales y patrimoniales, dichos condicionamientos normativos se deben tomar en cuenta en esta fase.



Riesgos: se debe planificar el proyecto de tal forma que responda a las normas establecidas, para evitar o mitigar los peligros naturales identificados en cada ciudad.

Financiamiento: este proceso implica seguir una serie de pasos establecidos en la legislación local y, asimismo, cuando el financiamiento se obtiene de recursos internacionales, es necesario seguir la reglamentación y políticas de los organismos financieros, desde la etapa de factibilidad.

Explotación: si bien los parámetros de explotación parecen lejanos en la etapa de concepción del proyecto, no es menos cierto que llegado el momento debe contarse con un marco jurídico que permita una transición ordenada al período de Operación. De no tenerlo, es necesario incluirlo en la programación desde el inicio.

Otros aspectos jurídicos: existen otros temas que, aunque no son materia de tratamiento específico en esta fase, se requiere al menos que sean conocidos, pues inciden en etapas posteriores. Éste es el caso, por ejemplo, de la legislación vigente para expropiación de terrenos, o la reglamentación para importación de productos al país.

Según lo descrito anteriormente, la revisión de la legislación es imprescindible para acotar el proyecto dentro de los límites de las normas legales aplicables.

El análisis debe ser hecho por profesionales conocedores de la regulación de la ciudad, región y país en temas de movilidad, ambiente, patrimonio, arquitectura, urbanismo, etc., con la finalidad de producir un compendio de dicha normativa que permita conducir las decisiones técnicas del proyecto dentro el entorno jurídico vigente.

Si bien la identificación del contexto reglamentario es uno de los primeros pasos que hay que dar dentro de los estudios de Planificación, se debe tomar en cuenta que las obras de construcción de metro son de larga duración, por lo que la revisión legal debe ser una actividad permanente, ya que los cambios normativos pueden afectar al proyecto en alguna etapa de su desarrollo, o bien generar características del entorno no consideradas inicialmente.

La tarea principal en esta instancia, entonces, es identificar el marco jurídico aplicable dentro del ámbito de las competencias del promotor del proyecto. En caso que la legislación sea insuficiente o no se ajuste al alcance requerido, será necesario activar mecanismos para suplir dicha falencia. En esta situación, se debe prever que los procesos de promulgación de reglamentación legal tengan tiempos perentorios para su validación, lo que hace que deban iniciarse con la debida anticipación.

Para fortalecer este estudio, es recomendable revisar proyectos similares ya ejecutados, para aplicar lecciones aprendidas y evitar dilaciones innecesarias o falencias reglamentarias que puedan entorpecer la gestión.

Por ello- y en vista de que el ámbito de Planificación de un proyecto de metro abarca muchas disciplinas y diversos organismos de control administrativo y jurídico- es indispensable que el análisis recoja todo el espectro de legislación que sea menester, por lo que la experiencia y la actualización en la materia son factores primordiales.

A modo de ejemplo, se puede mencionar que la situación de un proyecto de metro que se construye por primera vez en una ciudad, comparado con otros que se acometen en urbes con experiencia previa, hace que en ocasiones no se cuente con el marco legal adecuado.

Éste es el caso de la primera línea del Metro de Quito, que requirió la emisión de la Ordenanza Metropolitana N°. 237, sancionada el 27 de abril de 2012, para la creación de la Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito, cuyo objetivo principal es “desarrollar, implementa y administrar el Subsistema de Transporte Público Metro de Quito”. Posteriormente, dicho instrumento fue modificado a través de la Ordenanza Metropolitana No. 383 del 28 de marzo de 2013.

El análisis del marco normativo y la incorporación de normas y estándares deben tenerse en cuenta, a fin de establecer un cronograma general de desarrollo del proyecto, que se inicie en la toma de decisión de su implementación hasta la entrada en operación.

Con todo, el primer paso en esta fase es- teniendo en cuenta los plazos entregados por la dirección del promotor del proyecto- la definición de la secuencia general de las grandes actividades, basada en el ciclo de vida de la iniciativa, como muestra la Figura 3.2.

Una vez determinados los plazos generales dictados por la dirección de la organización, se deben considerar todas las actividades requeridas en cada una de las etapas de desarrollo del proyecto y, a partir de éstas, elaborar un cronograma (ejemplos en las Figuras 3.3 y 3.4).

Figura 3.2

"Ejemplo de ciclo de vida de un proyecto metroferroviario"



Fuente: ALAMYS, 2018; basada en el ejemplo de Ciclo de Vida Predictivo de la Guía del PMBOK, 5° edición.

Figura 3.3

"Etapas y actividades principales en proyecto metroferroviario"



Fuente: ALAMYS, 2018.

Figura 3.4

"Carta Gantt general de un proyecto metroferroviario"

Id	Tareas	A 1				A 2				A 3				A 4				A 5				A 6				A 7
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
1	**Planificación**																									
2	Análisis del Entorno (Expanión Urbana)																									
3	Estudio de Demanda																									
4	Análisis de Alternativas																									
5	Diseño Constructivo																									
6	Selecc6n de Métodos Constructivos																									
7	Relaciones Comunitarias y Medio Ambiente																									
8	**Financiamiento y Modelo de Negocio**																									
9	Modelo de Operación / Modelo de Negocios																									
10	Estudio de viabilidad económica - financiera																									
11	Estrategias para estructurar un proyecto																									
12	Niveles de Subsidio																									
13	Ingresos tarifarios y No tarifarios																									
14	Relaciones con la Comunidad y Medio Ambiente																									
15	**Licitación / Contratación**																									
16	**Construcción**																									
17	Túnel, plataforma a nivel, viaducto elevado																									
18	Sistemas y Equipos																									
19	Planificación e Hitos																									
20	Seguimiento y Control																									
21	Relaciones con la Comunidad y Medio Ambiente																									
22	**Operación**																									
23	Etapa de Puesta en Marcha																									
24	Etapa de Operación																									
25	Relaciones con la Comunidad y Medio Ambiente																									

Fuente: ALAMYS, 2018.

En resumen, los pasos necesarios para efectuar la planificación calendarizada del proyecto, son:

- Definir el proyecto, especificando los objetivos, recursos disponibles, tiempo necesario y presupuesto general.
- Dividir el trabajo en fases, departamentos, servicios, etc.
- Separar cada ítem en actividades.
- Representar el diagrama de descomposición del trabajo adecuado.
- Establecer las relaciones de precedencia entre actividades.
- Estimar la duración de las tareas determinando los recursos implicados, y evaluando las necesidades de éstos por parte de las actividades.

Finalmente, al igual que los aspectos técnicos, en la etapa de Planificación es necesario identificar y analizar el marco jurídico aplicable al proyecto.

La extensión de la obra desde el punto de vista geográfico, político-administrativo, y de movilidad, hace que su alcance se relacione de forma transversal con diversos componentes que pueden tener su propia reglamentación específica; por lo tanto, constituye una labor previa de gran importancia, que permitirá desarrollar los siguientes pasos dentro de la concepción y análisis de factibilidad del proyecto, para asegurar que se enmarcará dentro de la legislación nacional y local correspondiente.





3.2 Análisis del entorno (Expansión urbana)

El crecimiento regulado de las ciudades requiere de un proceso de Planificación que se traduce en Planes de Ordenamiento Territorial (POT), Planes Reguladores de Escala Local (por ejemplo, de un distrito, comuna u otro), o de carácter regional (planes de escala metropolitana).

El desarrollo de las urbes implica, por una parte, una visión de expansión geográfica, pero también el cambio de uso del suelo de la ocupación actual en función de las oportunidades que ofrece la dinámica de la ciudad. Estos cambios de zonificación están íntimamente ligados con la densidad poblacional, la tipología de las edificaciones, la mayor o menor oportunidad de acceso a servicios públicos, entre muchos otros.

La aplicación del modelo de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), ya implementado con éxito en importantes ciudades del mundo[5], hace que la movilidad de las personas represente un pilar fundamental en el desarrollo urbanístico y territorial.

Lo principales elementos a tener en cuenta en el proceso inicial de Planificación, tanto para nuevos sistemas, como para la expansión los existentes son: expansión geográfica de la ciudad, riesgos naturales, uso del suelo actual y futuro, densidad poblacional, interconexión modal, valoración del suelo, servicios públicos, condiciones constructivas, sostenibilidad, zonificación del sistema integrado y tarificación, aspectos sociales, culturales, ambientales y patrimoniales, seguridad ciudadana y disponibilidad de espacio para la instalación de la infraestructura que el sistema requiere.

5 Por ejemplo, en América Latina, en Curitiba, Brasil.





3.2.1. *Expansión geográfica de la ciudad*

Se requiere efectuar una previsión razonable respecto de la expansión geográfica de la ciudad, considerando factores físicos (topografía, riesgos naturales, suelos, etc.), infraestructura de servicios públicos y características del mercado del suelo urbano; elementos que se espera estén contemplados y justificados en el POT, teniendo en cuenta que el desarrollo de sistemas de transporte público fomenta o desincentiva los objetivos y metas de dicho Plan de Ordenamiento.

3.2.2. *Riesgos naturales*

Los factores de riesgo naturales, tales como: alta sismicidad, volcanismo, deslizamientos y remoción en masa, inundaciones, alta pluviosidad, etc., requieren un tratamiento especial en los POT's. Desde su fase conceptual, la planificación urbana debe evitar promover la expansión hacia zonas donde se haya identificado este tipo de riesgos, sobretodo porque su mitigación requiere de altos costos de inversión.

Similar reflexión se aplica a iniciativas específicas de infraestructura de transporte, cuyas características deben responder a las condiciones de riesgo regional y local, de forma tal que- si no es posible eliminar el riesgo, evitando la exposición directa del proyecto- será indispensable atenuarlo, mediante la aplicación de factores de seguridad adecuados, obras de protección, sistemas redundantes y, en general, planes de mitigación, que con seguridad incrementarán los costos totales.

Dependiendo de la necesidad de atención a la demanda en sectores de las ciudades que requieren imperiosamente de sistemas de transporte pesado, una alta severidad de los factores de riesgo puede incluso poner en peligro la factibilidad de implementar el proyecto y, necesariamente, habrá que mirar alternativas suplementarias.





3.2.3. ***Uso del suelo actual y futuro***

En el proceso de Planificación, es necesario tomar en cuenta la posibilidad de cambios de uso de suelo, dependiendo de factores externos del desarrollo urbanístico de la ciudad, o también de las posibles modificaciones inherentes a la construcción de un nuevo proyecto (o a la extensión de uno ya existente).

El cambio de uso de suelo, y por consiguiente de la categoría de la zonificación, conlleva a su vez a variar las actividades de la población, y representa la modificación de hábitos y comportamientos.

Es importante contar con estudios actualizados respecto a este punto, para que la toma de decisiones se realice de forma técnica y bien sustentada, considerando la modelación de la situación futura en base a cómo los cambios en el uso del suelo incidirán en la demanda.

3.2.4. ***Densidad poblacional***

Dependiendo de cada ciudad, la tendencia de aumento o disminución de densidad poblacional se puede producir siguiendo diferentes formas: hacia la periferia, en centro, en torno a grandes corredores de transporte, etc.

La planificación del proyecto debe adelantarse a estimar los flujos de pasajeros y los cálculos Origen-Destino (O-D), con el propósito de optimizar el trazado y establecer la ubicación y dimensionamiento preliminar de estaciones.

Será necesario cuantificar cuidadosamente el riesgo de proponer extensiones del sistema metropolitano hacia zonas no consolidadas, pero con un potencial prometedor.





3.2.5. *Interconexión modal*

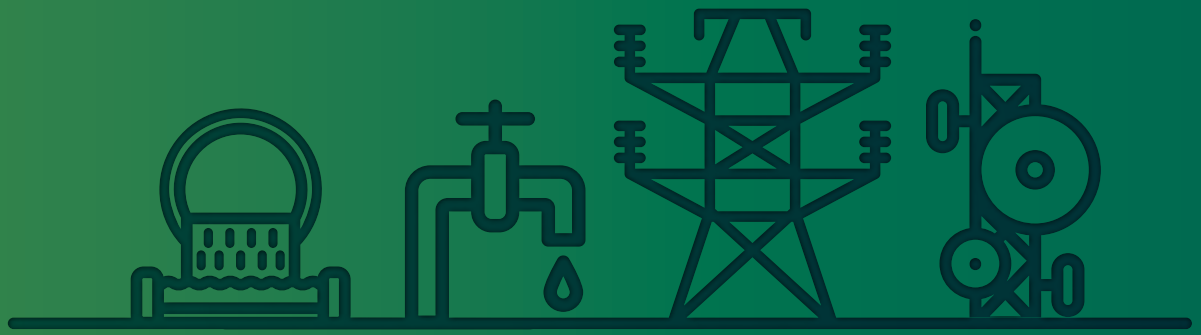
La interconexión con los medios de transporte actuales, como taxis, buses, tranvías, funiculares o metrocables, trenes suburbanos, ferrocarriles, u otras líneas de metro, es una consideración imprescindible, ya que el intercambio de viajeros garantiza en gran medida el éxito de nuevos desarrollos del sistema. De no existir posibilidad real de interconexión, se deberá estimular a los organismos de planificación locales y regionales para estudiar y proponer sistemas complementarios que permitan una adecuada integración. Posiblemente, dicha mejora implica el rediseño de la malla vial y el replanteo de parámetros urbanísticos importantes.

3.2.6. *Valoración del suelo*

El cambio de uso de suelo que puede proyectarse en el POT, por diferentes consideraciones- pero sobre todo como consecuencia de la influencia de la expansión de los sistemas masivos de transporte- hace que el valor del suelo sufra variaciones importantes a corto y mediano plazo, produciendo distorsiones focalizadas y especulación.

La planificación inicial debe considerar las externalidades positivas y negativas que el proyecto generará, puesto que puede revalorizar zonas donde, por ejemplo, se ubique una estación; pero también puede presentarse el efecto contrario, donde se proyectan obras auxiliares como pozos de ventilación y subestaciones eléctricas, y, en el caso de sistemas elevados, la presencia de torres o el paso de la propia línea.

A la hora de requerirse expropiar o comprar terrenos para el desarrollo del proyecto, es menester incluso analizar soluciones alternativas que permitan optimizar el diseño desde el punto de vista económico, cuando las aspiraciones de los propietarios de los predios son exageradas.





3.2.7. ***Servicios públicos***

La disponibilidad de servicios públicos, tales como: alcantarillado, agua potable, energía eléctrica y redes comunicacionales, es un criterio primordial en los planes de ordenamiento para priorizar la tendencia de desarrollo de las ciudades. El razonamiento puede ser orientar el aumento de densidad en zonas con provisión sobrante de servicios- y que puede soportar carga adicional- o, en su defecto, tender a ocupar áreas donde se proyecta el establecimiento de nuevas redes de servicios, ya que resulta interesante para la ciudad la intervención de dichos espacios a largo plazo.

Con todo, es deseable que estén planificados previamente los servicios públicos de forma ordenada y debidamente identificados, ya que facilita la interconexión de dichas actividades con el nuevo sistema. Sin embargo, hay que considerar que- desde el punto de vista constructivo- los servicios ya instalados requieren un tratamiento especial para evitar interferencias indeseables.

3.2.8. ***Condiciones constructivas***

Si bien dentro del POT debe tomarse en cuenta que las características de suelo sean razonablemente adecuadas para el desarrollo del plan, no es menos cierto que dichas condiciones no necesariamente son compatibles con obras de construcción de gran envergadura, como es la infraestructura de un sistema de metro.

No es extraño, por ejemplo, que en nuestras ciudades se encuentren sectores con terrenos que han sufrido intervenciones antrópicas informales, por donde luego se planifique el paso de la traza del metro subterráneo, con las consiguientes dificultades constructivas, que requieren tratamientos especiales y costos inducidos considerables.



3.2.9. ***Sostenibilidad***

El hecho de que tanto la planificación urbana, como los proyectos de infraestructura relacionados con ella tengan un carácter sostenible, implica que las especificaciones de diseño suelen provenir de instancias superiores que corresponden a políticas de Estado, convenios internacionales y, frecuentemente, a los lineamientos de los entes de crédito, que vigilan muy cercanamente que se cumplan estos principios.

Características como: ahorro energético, accesibilidad universal, igualdad de género, etc., se aplican indistintamente en los POT's y en los planes maestros de sistemas de transporte, por lo que constituyen parámetros transversales que se recogen en todas las actividades.



3.2.10. ***Aspectos sociales, culturales, ambientales y patrimoniales***

El proceso de crecimiento de las ciudades tiene una relación directa con los procesos sociales, económicos y políticos de su comunidad. Así, los POT´s deben reflejar dichos procesos, desde el punto de vista de las necesidades generales y particulares de espacio de recreación, movilidad, servicios públicos, vivienda, negocios, etc.

Las diferentes características de los asentamientos humanos hacen que varíe la densidad de población de una zona respecto a otra, y que la necesidad de transporte sea distinta. Esta caracterización hace que la planificación del proyecto deba estar sincronizada con los POT's, con el objeto de cubrir la demanda esperada y prever a largo plazo su posible incremento.

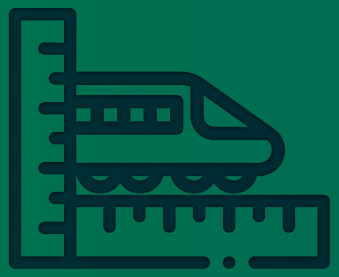
De igual forma, las manifestaciones culturales de la sociedad tienen efectos muy significativos, que conllevan comportamientos excepcionales de forma puntual o a lo largo de un período extenso. Estas consideraciones también serán estudiadas por los proyectistas de los sistemas de transporte masivo, ya que pueden determinar mínimos y máximos de demanda, entre otros comportamientos.

En lo que se refiere a los componentes ambientales y patrimoniales, los planes maestros están obligados a tener una estricta concordancia con la planificación urbana, ya que los proyectos que podrían afectar sitios con restricción de ocupación deben analizar las alternativas posibles para evitarlos o, de no ser posible, mitigar al máximo sus efectos, de acuerdo con la legislación ambiental y territorial correspondiente.



3.2.11. ***Seguridad ciudadana***

Independiente de cuál fuese el organismo al que le corresponda el control de la seguridad de los ciudadanos, la planificación de un proyecto debe tomar en cuenta dicha situación, promoviendo el diseño de espacios amplios, iluminados, con medios de evacuación adecuados, y brindando al ciudadano una percepción de comodidad y seguridad. La planificación y diseño de los componentes de los sistemas de transporte metropolitano deben propender a mantener lineamientos similares, de modo que- al igual que las premisas que se refieren a sostenibilidad- también sea imprescindible la correspondencia directa entre los planes de desarrollo de la ciudad con los del sistema de transporte.



3.2.12. ***Disponibilidad de espacio para infraestructura***

Una particularidad de los sistemas de transporte público masivo, es la necesidad de contar con uno o más espacios de tamaño considerable, que serán utilizados para dar cabida a los talleres, cocheras y otras obras de infraestructura necesarias. El requerimiento se presenta a la hora de diseñar la traza, por lo que no es usual que los planes de desarrollo de la ciudad contemplen la disponibilidad de dicho espacio. Sin embargo, en función del tiempo programado para desarrollar el trazado, en lo posible el diseñador tendrá la chance de seleccionar varias alternativas de espacios de ocupación y, con ellas, gestionar ante el organismo encargado de preparar el POT, la disponibilidad del terreno con la superficie necesaria.

3.2.13. ***Conclusiones y recomendaciones del análisis del entorno.***

- **Investigar existencia y temporalidad de planes de desarrollo**

La planificación de los sistemas de transporte masivo requiere como insumo de partida la investigación del contenido de los POT's o Planes Reguladores de alcance nacional, regional y metropolitano, de tal forma que las premisas de diseño del proyecto respondan a las necesidades estudiadas y detectadas en dichos planes.

Los estudios específicos que puedan realizarse para desarrollar la propuesta de factibilidad del nuevo componente del sistema, deberán complementar la información general de los planes territoriales, y ratificar o rectificar sus hallazgos y estimaciones.

Es indispensable que el planificador del proyecto tome como base los POT's con el objeto de sustentar adecuadamente sus recomendaciones, y que el proyecto permanezca válido a través del tiempo.

- **Anticipación a planes de desarrollo regional, metropolitano y de movilidad**

Si bien los POT's se deberían diseñar para períodos relativamente amplios (10 o más años), su implementación está sujeta a diferentes situaciones, que pasan por aspectos económicos, financieros, sociales y políticos.

La falta de continuidad desde el punto de vista de Planificación, dependiendo de los intereses políticos, hace que los POT's no se respeten de una administración a otra, provocando que el crecimiento de las ciudades sea desordenado y no responda estrictamente a consideraciones técnicas. Una forma de que la concepción del proyecto sea perdurable en el tiempo, es aplicar el modelo de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT)[6].

En proyectos de infraestructura tan complejos y costosos como los de construcción de líneas nuevas o extensión de las existentes, las situaciones mencionadas pueden llevar incluso a que el proyecto no se ejecute, a pesar de que claramente se haya establecido su necesidad.

- **Dónde atender la demanda actual y futura**

En la generalidad de los casos, los sistemas de transporte masivo responden a la expansión de la ciudad, una vez que los asentamientos poblacionales se encuentran consolidados y es necesario cubrir una demanda insatisfecha. Sin embargo, la norma debería ser la situación contraria; es decir, que el sistema de transporte debería marcar la tendencia de crecimiento de la ciudad, lo cual permitiría que los organismos de planificación urbana optimicen los recursos en crear nuevas zonas de expansión, partiendo de que el transporte se encuentra garantizado.

Es necesario, entonces, que los proyectos constituyan la columna vertebral de la movilidad dentro del POT, y que- a partir de él- se desarrolle el resto de servicios y espacios de convivencia. Es básico que este concepto se adopte integralmente, y con un tiempo suficiente para que los tomadores de decisión estén plenamente conscientes de sus beneficios para la población.

Una consecuencia muy positiva de esta metodología radica en que cuando la población cuenta con un medio de transporte masivo eficiente, seguro y confiable, no requiere buscar alternativas para movilizarse a grandes distancias de forma individual, como sería en vehículo particular motorizado, y más bien se enfoca en opciones más amigables como el desplazamiento en bicicleta o peatonal, para distancias relativamente más cortas.

6 Por ejemplo, ver: Santos, Evandro. (2011). Curitiba, Brazil: Pioneering in Developing *Bus Rapid Transit* and Urban Planning Solutions. Saarbrücken, Alemania: Lambert Academic Publishing.

Como hemos visto, el diseño y ejecución del proyecto debe ir de la mano con el POT de la ciudad. Si éste responde a un estudio técnicamente realizado, con información actualizada, y que ha sido capaz de identificar razonablemente la demanda de movilidad de la ciudad, seguramente constituirá un insumo importante para calcular con precisión la demanda futura.

Siendo los sistemas de metro proyectos diseñados para mediano y largo plazo, su funcionalidad y rentabilidad social deben estar acorde con la demanda futura, y ser capaces de mantener un ritmo de crecimiento continuo durante su vida útil.

La atención de la demanda presente y futura se enfocará básicamente en los resultados que arrojen los estudios de detalle, priorizando su aplicación en los sectores menos favorecidos, con perspectivas de mayor crecimiento.



3.3 Estudio de demanda

Tal como se ha indicado en el acápite anterior, el proceso de planificación de un proyecto de transporte público responde a estudios de demanda, los mismos que tienen directa relación con la densidad de población de los sectores donde se brinda el servicio de transporte.

El hecho de que la densidad de población marque la pauta en el diseño y ejecución del Plan Maestro, tiene que ver con la necesidad de una cantidad determinada de personas de desplazarse para realizar sus actividades diarias: estudio, trabajo, atención de salud, distracción, compras, gestiones de diversa índole, etc.

La densidad poblacional nos da una idea de la demanda que el sistema debe satisfacer, pero- para contar con una cuantificación más precisa de los viajeros dentro del sistema- es necesario ahondar la investigación mediante estudios específicos, los mismos que deben ser actualizados periódicamente, para que sus resultados reflejen la dinámica de desarrollo de la ciudad y los cambios en los hábitos de movilidad de los pobladores en un tiempo determinado.

El estudio de demanda no solamente cuantifica el número potencial de usuarios del sistema, sino que además permite determinar con bastante precisión los sitios de Origen-Destino (O-D), las frecuencias y los patrones de viaje, entre otros. A su vez, brinda la posibilidad de mejorar continuamente la eficiencia económica de la operación, por medio de un cálculo preciso de costos.

Esta información es fundamental cuando se trata de preparar y ejecutar un Plan Maestro de metro, y es la base para el dimensionamiento de los componentes del sistema, tales como la frecuencia de viajes, intervalos, sistema de señalización, capacidad del material móvil, previsión de consumo de energía, inicio y fin del horario de operación, ciclos de mantenimiento, etc.

Después de la realización del estudio de la planificación de la expansión urbana, el siguiente paso es la valoración de la captación de viajeros que obtendrá el nuevo modo de transporte que se propone en el ámbito de estudio.

Esta evaluación es totalmente necesaria para el correcto dimensionamiento de todas las instalaciones y equipamientos asociados a la nueva infraestructura: definición del material móvil y de las estaciones (pasillos, vestíbulos, andenes, etc.), necesidades de los equipos eléctricos (subcentrales), sistemas de seguridad, entre otros.

A continuación, se define con mayor detalle la información necesaria, los resultados esperados y las herramientas que se pueden utilizar en estos estudios, considerando como relevante la elaboración de matrices O-D, análisis socioeconómico y territorial, estudio de la red de transporte, el establecimiento de modelos que permitan proyectar las demandas actuales y distintos espacios urbanos y, finalmente, la integración del modo de transporte metroferroviario con el sistema de transporte urbano (intermodalidad e intercambiadores).

3.3.1. Determinación de los flujos de demanda actual

Para la determinación de los flujos de demanda que capta una nueva infraestructura, las herramientas más empleadas son: Modelo de Cuatro Etapas, toma de datos mediante encuestas y empleo de nuevas tecnologías (telefonía móvil, por ejemplo); siendo- de éstas- la determinación de la movilidad espacial mediante el empleo de bases de datos de telefonía móvil, la más avanzada.

A estas tres herramientas- en sistemas que ya cuentan con infraestructura metroferroviaria y sistemas integrados- se debe agregar la obtención de datos de movilidad (incluida la matriz O-D) directamente de la información de cancelación de los boletos de transporte público.

La matriz de desplazamientos O-D es uno de los elementos básicos dentro del estudio de demanda, ya que permite desarrollar dos aspectos elementales dentro del proceso de planificación de una nueva línea de metro:

- Alimentar el modelo de demanda.
- Identificar y caracterizar los flujos de movilidad de la ciudad o del área metropolitana donde se planifica la nueva infraestructura.

El análisis de la variación temporal de la demanda también permite un adecuado dimensionamiento del sistema: estaciones (por ejemplo, el número de máquinas pagadoras o dimensión de los accesos), conectores, material móvil, etc.

Durante este proceso, suelen necesitarse empresas de estudios de mercado o realización de encuestas, así como compañías especializadas en el análisis de información procedente de bases de datos generados a partir de pesquisas, de la telefonía móvil, los registros del billetaje y otro tipo de información.

Para la elaboración de la matriz O-D (y otros parámetros de movilidad), es preciso la realización de un análisis socioeconómico y territorial previo para poder determinar correctamente el número de encuestas (muestra) sobre el total de la población (universo), incluida en el área de estudio.

3.3.2. Análisis socioeconómico y territorial

Para la realización de un buen estudio de demanda, es necesario obtener la información socioeconómica relativa al territorio en cuestión. En concreto, se precisa conocer la población de cada zona, la actividad que se genera, la localización de los centros que atraen viajes, etc. Esta data será utilizada en las distintas fases de dicho análisis.

En primer lugar, se obtendrá una primera aproximación de la realidad territorial. Posteriormente, será utilizada para la producción de matrices y otros parámetros de movilidad, cualquiera sea la metodología escogida (Modelo de Cuatro Etapas, realización de encuestas, modelos de simulación, determinación de cuantificaciones relativas de transporte, etc.).

La importancia de estos aspectos recae en lo siguiente:

- Conocimiento del territorio e identificación de las necesidades de transporte, así como el reconocimiento de puntos generadores y concentradores de movilidad.
- Los datos socioeconómicos son insumos de la modelización, en caso que se desarrolle un modelo de demanda.
- El correcto diseño de la muestra para un proceso de encuestas requiere del conocimiento territorial y de la información socioeconómica.

El análisis de estos aspectos debe plantearse como una fase previa a la elaboración de la matriz de desplazamiento y del modelo de demanda, ya que mucha de la información a recopilar será necesaria en estas etapas. En la mayor parte de los casos, los datos que este análisis requiere son generados y administrados por terceros, sean éstos entidades públicas, privadas u organismos no gubernamentales.

El estudio debe efectuarse en dos dimensiones: la caracterización del medio y la dimensión espacial.

En el primer caso, y a modo de ejemplo, el tipo de información requerida será:

Población (número de habitantes, distribución territorial por perfiles de edad, género, evolución histórica, nacionalidad, origen, etc.).

Lugares de trabajo y estudio (número de trabajadores, número de estudiantes, localización de centros educativos, etc.).

Motorización (número de vehículos, tipología, ratios por habitante, evolución histórica, etc.).

Actividades económicas (superficie comercial por zonas, localización de mercados, centros comerciales, superficie de actividades de servicios, actividades de superficie industrial, etc.).

Centros de concentración de movilidad (aeropuertos, estaciones de ferrocarril, terminales de autobuses, complejos administrativos, campus universitarios, hospitales y otras instalaciones sanitarias. De estos puntos debe conocerse su localización, número de visitantes diarios, horarios, pauta temporal, etc.).

Respecto a la dimensión espacial- y dependiendo de la estructura de organización territorial- los niveles que pueden usarse para la representación de esta información pueden ser:

- Manzanas o cuadras.
- Zona estadística básica.
- Zona censal.
- Distrito postal.
- Barrios.
- Municipios o comunas.

Figura 3.5
"Ejemplo de la zonificación de la ciudad de Valencia, España"



Fuente: Idom, 2016.

3.3.3. *Análisis de la red de transporte*

El estudio de demanda requiere del conocimiento detallado de la red del sistema de transporte, funcional y operacional, con el objetivo de realizar una buena diagnosis y, posteriormente, realizar propuestas que permitan mejorar las deficiencias detectadas en la situación actual.

En el caso de utilizar un modelo de simulación, la realización del grafo (esquematización en soporte informático de la red de transporte) precisa de una información amplia y detallada: definición del trazado, ubicación de las paradas, frecuencia del servicio, velocidad comercial, intercambios, etc. Este proceso de ajuste (calibración del modelo) es largo y costoso, pero es necesario para el caso de estudios de precisión en ámbitos urbanos complejos.

El conocimiento de la red de transporte es importante, ya que permitirá estar al tanto de las necesidades de movilidad y justificar el diseño del proyecto, a la vez que se dispondrá de información para poder calibrar un modelo adecuado, en caso que éste se desarrolle.

Las fuentes de información suelen ser muy variadas de un ámbito a otro, y cuentan con estándares de calidad diversos, situación que debe ser considerada en el proceso.

3.3.4. *Modelización de la demanda*

Para la realización de un estudio de demanda se utiliza, como esquema general, el Modelo de Cuatro Etapas, aunque en el caso de ya disponer las matrices de movilidad (a través de encuestas o de otros medios), esta metodología se reduce a la cuarta fase, que es la asignación de la matriz con el modelo de simulación.

Así pues, dicho modelo- de forma general, previa definición de una detallada zonificación en el ámbito de estudio- consiste en:

Primera Etapa: determinación del número de viajes generados y atraídos en función de la población, y de los puestos de trabajo existentes en cada zona. A mayor número de personas y empleos, mayor demanda generará aquella área. Esta información ha de ser facilitada por los gobiernos locales, regionales o nacionales.

Segunda Etapa: determinación del número de viajes entre zonas. Empleo de modelos gravitacionales; es decir, se supone que el número de viajes realizados entre dos zonas es proporcional al producto del número de habitantes y de los puestos de trabajo, e inversamente proporcional a la distancia o el tiempo de recorrido.

Tercera Etapa: reparto modal. Modelos matemáticos que se han de ajustar y calibrar a partir de datos existentes de reparto modal, y de la matriz de tiempos de viaje entre las zonas. Se suelen utilizar funciones del tipo exponencial negativa (curvas logit). De esta forma, se obtienen las matrices de movilidad asociadas a cada modo de transporte.

Cuarta Etapa: asignación de la matriz. Uso de un modelo de asignación que convierta los flujos de movilidad de las matrices interzonales, a flujos de movilidad sobre las distintas líneas de transporte público (ferroviarias y de autobuses). Esta fase requiere de un detallado proceso de revisión de todos los parámetros que intervienen en el modelo de simulación.

El Modelo de Cuatro Etapas debe desarrollarse para la situación “sin” y “con” proyecto; es decir, en la primera, la matriz de tiempos interzonales corresponde a los tiempos reales de los desplazamientos entre las distintas zonas. En la segunda, en cambio, con las nuevas previsiones demográficas e infraestructura (que genera una nueva matriz de tiempos interzonales), se recalculan el resto de etapas y, con ello, la demanda de la nueva infraestructura.

La modelización de demanda permite establecer los flujos de pasajeros o tráfico, de acuerdo a distintos escenarios futuros de movilidad.

Dentro de las metodologías estándar más utilizadas, la más común es la de Cuatro Etapas: generación y atracción de viajes, distribución, reparto modal, y asignación.

Sus principales características son:

- Suele necesitar empresas de consultoría de transporte especializadas en la realización de modelos.
- Interactúa con otras etapas del proceso: caracterización socioeconómica, análisis de la red de transporte, y elaboración de la encuesta O-D de desplazamientos.

La información para poder alimentar y calibrar el modelo de transporte procederá de etapas anteriores de los trabajos. Asimismo, se debe señalar que su elaboración requiere del uso de *softwares* especializados de distribución comercial fácil de obtener.

Finalmente, es necesario indicar que todo este proceso suele ser laborioso, y requiere de un trabajo de recopilación de información, tratamiento, y análisis de datos de bastante envergadura. La existencia de un modelo previo puede ayudar a hacer el proceso más ágil, ya que algunas de las tareas a realizar serán tan solo de revisión o actualización.

3.3.5. *Intermodalidad e intercambiadores*

La eficiencia de proyectos metroferroviarios debe determinarse en el marco de un sistema integral de movilidad, que incluya también el transporte privado y público (sistema de autobuses, vehículos, bicicletas y peatones).

Los elementos que favorecen esta intermodalidad son las "correspondencias", "intercambiadores", "combinaciones" o "interconexiones", dependiendo del país iberoamericano en el que se esté. El buen diseño de éstos permite reducir el tiempo de viaje cuando se han de utilizar distintos servicios y, por tanto, disminuye la percepción negativa. Además, es posible una captación adicional de demanda porque el desplazamiento se hace más competitivo.

Figura 3.6

"Ejemplo de zona parada de autobuses frente la estación de Sants, en Barcelona, España"



Fuente: Idom, 2012.

En líneas de nueva construcción se ha de intentar que la distancia con las estaciones existentes de otras rutas sea la menor posible, tomando en consideración los criterios locales de accesibilidad que se puedan dar en un sistema integrado, donde normalmente se acepta 1 km. En caso que no sea posible, se pueden construir pasillos con *tapis roulant*, que disminuyen el tiempo de viaje y, además, mejoran la comodidad del intercambio.

Otros tipos de intercambiadores muy importantes son los *Park&Ride* (P&R): aparcamientos para vehículos privados al lado de una estación específica, que permiten la realización de desplazamientos combinados entre vehículo privado - tren. Esta solución se ha pensado para la ejecución de trayectos suburbanos, con un origen alejado del continuo urbano de la ciudad. De esta forma, se consigue acceder al centro de la ciudad de forma rápida y segura, sin los problemas de congestión que se dan en coche privado.

Figura 3.7

"Ejemplo de mejora del pasillo de conexión entre las estaciones de la línea 3 y 5 del Metro de Barcelona, España"



Fuente: Generalitat de Catalunya, 2011.

En esta fase, es necesaria la participación de empresas especializadas en la planificación y el diseño. Adicionalmente, puede ser mandatorio la realización de un estudio de demanda que permita determinar las previsiones de pasajeros en los intercambiadores, junto con la realización de análisis funcionales en estos puntos.

Las fuentes de información para determinar la capacidad del sistema dependerán de las características operacionales del mismo.

En el caso del transporte público, la principal fuente de datos proviene directamente de las validaciones de los boletos (en el caso de ser billetes/tarjetas integradas entre distintos modos de transporte), tal como se ha explicado en la actividad de elaboración de la matriz O-D. En su defecto, se pueden realizar encuestas o contajes en los puntos de intercambio, pero esta segunda alternativa requiere un costo económico significativo.

En el caso de los P&R, la información es recogida y tratada por el propio explotador, o bien por la autoridad propietaria del aparcamiento. En esta situación, también se pueden realizar encuestas o contajes que complementen la información disponible.

Para favorecer una correcta intermodalidad entre sistemas de transportes, deben tenerse en cuenta un conjunto de recomendaciones, ya que no existe una metodología propiamente dicha.

La intermodalidad en los intercambiadores puede plantearse entre los sistemas de metro y siguientes medios de transporte:

- Sistema de metro y peatones.
- Sistema de metro y bicicletas.
- Sistema de metro y autobuses.
- Sistema de metro y vehículos particulares.
- Entre sistemas metroferroviarios.

Figura 3.8

"Ejemplo de zona de aparcamiento para bicicletas frente estación ferroviaria en la ciudad de Estrasburgo, Francia"



Fuente: Autoritat del Transport Metropolità, 2016.





3.4 Análisis de alternativas

Antes de definir que el proyecto sea realizado como un sistema tipo metro, es primordial estudiar las ventajas y desventajas de los diferentes modos de transporte (BRT, corredor de buses, tranvía, metro ligero o metro pesado) y analizar cuál cumple mejor con las condiciones de lo que se quiere realizar en la ciudad en materia de movilidad eficiente.

Si luego de ese estudio se ha tomado la decisión de que el sistema a construir sea un metro, hay que pensar en las alternativas de edificación que se tienen: subterráneo o de superficie (o ambos), viaducto, tecnología de las vías, condiciones de operación, entre otras variables a considerar.

Los elementos básicos que se proponen para un análisis óptimo son esencialmente la comparación de trazados opcionales y los métodos constructivos asociados a cada uno, antecedentes derivados de una ingeniería básica donde lo relevante corresponde a: ingeniería de la mecánica de suelos, definición del trazado según velocidad de diseño de la línea, y características de la vía e impacto de expropiaciones y/o servidumbres. Todo, permitirá estimar las características generales de cada alternativa:

- Cantidad total de estaciones: de superficie, subterráneas o viaducto, longitud de inter-estaciones.
- Longitud del trazado: en superficie, subterránea o viaducto.
- Cantidad de ventilaciones (trazado subterráneo).
- Costo total y plazo estimado.

Las variables principales deben ser evaluadas en razón al costo e impacto en la funcionalidad de la línea, lo que debe ser suficientemente analizado para tomar la mejor decisión para el proyecto, ya que esto quedará por décadas operando a un alto estándar o, de no tomar la correcta determinación, se tendrá complejos escenarios de desarrollo futuro.

En esta etapa de evaluación y comparación de alternativas, se requiere un estudio general de riesgos asociados, tal como se muestra en la tabla 3.1.

Finalmente, la valoración de estos aspectos en las distintas alternativas inducirán a escoger el proyecto óptimo, desde la perspectiva de viabilidad técnica y beneficios al sistema de transporte[7].

7 Ver apartado 3.6.

Tabla 3.1

"Estudio de riesgos en proyectos metroferroviarios"

ÍTEM	RIESGOS ASOCIADOS
Obras Civiles Expropiaciones	Conflictos con la comunidad. Efectos en las viviendas del entorno.
Mecánica de suelos	Incertidumbres por eventuales requerimientos de mayor sostenimiento: sistemas relativos a mantenimiento de suelos, incremento en el reforzamiento en estaciones, etc.
Imprevistos	Mayores costos asociados a imprevistos. Por ejemplo, incertidumbre en mecánica de suelos.
Demanda y rentabilidad social	Los costos asociados a incertidumbres impactan en los indicadores de rentabilidad social.
Impacto en el entorno	Efectos de las expropiaciones en la comunidad. Métodos constructivos y su impacto en el Medio Ambiente (ejemplo: ruidos y vibraciones).
Plazo del proyecto	Las incertidumbres provocan aumento en los plazos de desarrollo del proyecto y, por ende, incertidumbre en el costo final.
Impacto en la vialidad adyacente	Impactos asociados en la red de transporte durante el periodo de construcción. Por ejemplo, aumento en tasa de saturación, disminución en velocidad de circulación.
Competencia intermodal	El proyecto compite con otros medios de transporte, generando grados de incertidumbre en la demanda en la fase de operación.
Impacto en el entorno urbano	Generación de externalidades positivas y negativas en el entorno. Incremento en el valor del suelo en zonas adyacentes a estaciones y disminución en zonas de talleres, ventilaciones, etc.

Fuente: ALAMYS, 2018.

3.5 Selección de métodos constructivos

La selección del método constructivo persigue relacionar diferentes factores entre sí y no sólo técnicos, balanceando aquellas cuestiones que- una vez ponderadas- permitan elegir la solución más ventajosa.

Así, existe una variada gama de tipología de análisis y toma de decisiones, desde las más simples (basadas en experiencias, pero nada desdeñables), hasta las altamente complicadas (con análisis de fortalezas y debilidades, por ejemplo).

En algunas ocasiones, es utilizada la "imposibilidad técnica" para la realización de ciertos proyectos, pero podría decirse que- al día de hoy- dado los grandes avances técnicos (tanto en ingeniería, como en construcción con maquinaria potente, soluciones y productos de todas las tipologías, o controles de calidad), prácticamente "todo" es posible ejecutar.

De esta forma, para soluciones metroferroviarias a nivel, elevadas y subterráneas, existen diferentes criterios que habrá que poner sobre la mesa para evaluar el proceso de construcción correspondiente.

Fundamentalmente, varios son los principios que afectarán al método constructivo y que, en el presente documento, se van a agrupar por los siguientes campos:

- Criterios económicos.
- Criterios de plazo: en la totalidad o por fases.
- Criterios puramente técnicos.
- Experiencia de la región/país.
- Logística y medios disponibles.
- Marco legislativo y normativo.
- Gobernanza.
- Sociales.
- Otros.

Con todo, existen tanto criterios objetivables y susceptibles de ponderación, como de carácter subjetivo, que pueden influir y están sujetos a distintas opiniones y puntos de vista.

Es muy importante entender que, cuanto más sólida sea cada pauta de categoría de evaluación, mejor será la solución finalmente adoptada. De la misma forma, lo normal es que se den distintos cambios de equipos directivos o gobiernos durante la vida de este tipo de construcciones, factores que suelen generar cierta distorsión en lo que finalmente resulte. Por tanto, hay que reparar en que- en estas ocasiones- no se mal utilicen estos criterios para alcanzar otros propósitos, pues se podría retrasar la construcción e, incluso, inviabilizar el proyecto completo.

A continuación, se detallan los principios que deberían tomarse en consideración para decidir un método constructivo en particular.

3.5.1. Criterios económicos

Este punto suele ser el más crítico, ya que marcará el nivel de endeudamiento y capacidad de pago en función de la determinación de financiamiento e ingresos de una administración y, en definitiva, de una población o país en concreto.

Los proyectos metroferroviarios tienen un costo elevado, por lo que tener "órdenes de magnitud" suficientemente aproximados desde el principio, ayudan a ir acotando diferentes fases en el plano económico (ingeniería financiera), e incluso a la toma de decisiones en materia de endeudamiento

directo, concesiones con aportaciones, a distintos niveles, o de terceros (empresas privadas, otras administraciones, etc.).

No hay que dejar de lado que este tipo de infraestructuras están diseñadas en base a un horizonte temporal muy elevado, y que no disponen de la flexibilidad suficiente una vez que se han tomado ciertas decisiones como el trazado (por donde discurre la línea); tipo de construcción (elevada, subterránea o en superficie); posición de las estaciones, etc.

Por todo, es fundamental identificar los importes económicos necesarios y la capacidad financiera de la administración correspondiente para hacerse cargo de la infraestructura.

Como recomendación, se puede indicar que es necesario contar con bases de datos de precios adecuadas, labores de *benchmarking*, conocimiento de la economía del sector y del mercado, en cuanto a capacidad técnica, márgenes empresariales y nivel de impacto en la economía de la zona (negativo y positivo).

3.5.2. *Plazos del proyecto*

El plazo es una pieza clave y fundamental para poner en marcha un proyecto metroferroviario. Las órdenes de magnitud pueden ir desde los tres hasta los ocho años si no existen complicaciones añadidas, que pueden dejar una infraestructura obsoleta antes de haberse puesto en marcha.

En este sentido, dando por supuesta una capacidad técnica suficientemente experimentada, el marco legislativo fija los plazos de forma clara, al margen de posibles cuestiones geológicas–geotécnicas que hayan podido surgir, y que no se hayan tenido en cuenta previamente.

Otros factores tipo político, social u otros- que llevan a modificaciones de última hora y a "cambios sobre cambios"- pueden retrasar ya no sólo la operatividad del sistema, sino el propio desarrollo de los trabajos.

Es crítica la no identificación de los tiempos relacionados con los campos que influyen en todas las fases de la definición, construcción y puesta en servicio de la infraestructura, y no tener reconocidas las posibles "lagunas administrativas" para este tipo de obra.

Se recomienda:

- Identificar los plazos legales, administrativos, organizativos y técnicos para la construcción y puesta en marcha de una infraestructura ferroviaria metropolitana.
- Identificación de la capacidad técnica, experiencia y conocimiento en el sector de las empresas que pudieran estar involucradas, así como del personal de la administración que va a estar al cargo de la dirección de los trabajos.
- Conocimiento del terreno adecuado y de los procedimientos constructivos correspondientes, desde los más modernos a los tradicionales, para la ejecución de las obras.
- Cerrar indefiniciones e inseguridades que puedan surgir de diferentes órganos con capacidad de impacto directo o indirecto sobre los trabajos.
- Desarrollar una matriz de riesgo con planes de mitigación claros y precisos

3.5.3. *Criterios técnicos sobre experiencia en la región*

No siempre es sencilla la construcción ferroviaria, principalmente cuando una cultura de esas características en la zona de actuación no existe, es obsoleta o nula.

Este tipo de transporte es un medio altamente conservador, que tiene una gran inercia y requiere de alta especialización. Cuando hay que partir de cero en este tipo de campo, se requiere de un equipo multidisciplinar amplio para controlar "bien" todos y cada uno de los aspectos del mismo.

Durante el desarrollo profesional en la fase de explotación, se hace necesaria la reinvención y análisis continuo para la mejora de la infraestructura, la adaptación a las nuevas tecnologías, el ofrecimiento de un mejor servicio a los clientes y viajeros, etc. Esto hace que la evolución sea continua.

Dicho progreso se traduce en una mejora en los nuevos elementos y sistemas a definir en la construcción de la obra, tanto en estaciones, como en túneles.

En otras ocasiones, buscando la "optimización económica inicial" en el estudio de factibilidad, la información de la que se dispone es mínima, lo que puede dar lugar a problemas en la fase de construcción e- incluso- en la de explotación, ya que en algunos casos la información necesaria no aparece hasta bien pasado el tiempo.

Se debe considerar:

- Cursos de alta cualificación a los profesionales encargados de gestionar la infraestructura durante la construcción y mantenimiento de la misma.
- Promover modificaciones en la legislación. Definición de responsabilidades y facilitación de los recursos necesarios para la gestión total de la red ferroviaria.
- Análisis detallado de datos, búsqueda de nuevos objetivos y mejora continua.
- Huir del "mito del experto" y de los "gurús" con soluciones únicas, universales, de muy bajo costo y súper mantenibles. No hay nada mejor que el personal que se va a hacer cargo de la explotación y el mantenimiento de la infraestructura- en combinación con la experiencia en diversos proyectos- para saber exactamente qué es lo que va a necesitar.

3.5.4. *Logística y medios disponibles*

En algunas ocasiones, algunos métodos constructivos requieren- durante la ejecución de los trabajos tantos recursos como poblaciones de tamaño medio- por lo que se necesita no sólo una logística en cuanto a sistema de transporte suficientemente razonable, sino una serie de elementos temporales a disposición; aunque, si bien es cierto, sinérgicamente dicha logística puede ser utilizada para la mejora futura de otro tipo de instalaciones que se encarguen de dar servicio a distintas áreas.

Es crítico no tener presente los costos extras, así como los plazos que pueden suponer la preparación logística de la infraestructura.

Se recomienda, entonces, aprovechar y valorizar aquellas instalaciones que- concebidas como provisionales- puedan ser definitivas con usos similares para los que fueron creadas.

3.5.5. *Criterios sociales y otros*

Entendemos por "criterios sociales", en el sentido amplio de la palabra, a todos aquellos que afecten a diferentes colectivos de personas, como asociaciones de vecinos, comerciantes, comunidades de todo tipo, cooperativas, etc.

Se requiere otorgar mucha importancia a este punto, pues una mala gestión comunicacional con estos grupos podría perfectamente inviabilizar la infraestructura, por la presión social a la que puede verse sometida la continuación del proyecto. Por ello, es recomendable involucrar tempranamente a los *stakeholders* involucrados en la materialización de la iniciativa.

Un ejemplo concreto para afianzar relaciones y acercarse a las comunidades aledañas al sistema que se quiere edificar, es el de modificar- aunque sea mínimamente- la forma de la infraestructura, de tal forma que preste servicio a un hospital, universidad, centros comerciales, polos industriales, etc.

Otro caso puede ser que- tratando de utilizar de forma sinérgica la construcción- se mejoren ciertas zonas desde lo social, se optimice el espacio público circundante, el hermoseamiento del entorno urbano, etc.

3.6 Presupuesto referencial

Durante la etapa de planificación de un proyecto de metro es indispensable poder estimar- con diferentes grados de exactitud dependiendo del avance- el costo del mismo. Los presupuestos, al igual que cada una de las diferentes componentes de la iniciativa, van evolucionando y aumentando su grado de detalle, en la medida que se define con mayor precisión el alcance final.

Poder contar desde el inicio con un orden de magnitud certero de los costos de inversión permite, entre otras cosas, evaluar con anticipación la factibilidad económica del proyecto, empezar a tomar decisiones respecto de su financiamiento, así como su inclusión en los planes de inversión de las diferentes áreas de gobierno.

La elaboración del presupuesto preliminar se aborda en la etapa de planificación desde un punto de vista macro, y con el objetivo principal de contar con un orden de magnitud de los montos asociados. Como se dijo anteriormente, en la medida que se desarrollen las diferentes etapas y se obtenga mayor detalle respecto de su alcance, la estimación de los costos del proyecto también se hará más precisa. Éstos, en una primera estimación, se pueden dividir en tres grandes etapas:

- Planificación, desarrollo de ingeniería y especificaciones técnicas.
- Construcción y suministros.
- Puesta en marcha, operación y mantenimiento.

Es importante tener en cuenta que, la presente, es una actividad cuantitativa, por lo que su realización requiere de un equipo de trabajo interdisciplinario que conozca los alcances del proyecto y establezca- con un grado de precisión aceptable- los costos asociados a cada etapa, estimando siempre un porcentaje que cubra imprevistos.

En este contexto, se deberán identificar cada uno de los elementos que tendrán un costo dentro del proyecto, estudios de consultoría especializada, equipos y recursos humanos, sistemas, materiales, obras, equipos, provisiones, transporte etc. Es decir, todos los recursos que se necesitarán para llevar a cabo las actividades que se han relevado y que requerirán inversiones para su desarrollo.

Una vez identificadas las componentes que requerirán una inversión, se debe continuar con la asignación de los montos para cada una de ellas. Esta tarea se volverá más compleja en la medida que se avanza en las definiciones técnicas, y una vez se haya tomado la decisión de financiar el mismo y se inicie la etapa de elaboración de documentación licitatoria. En ésta, se debe tener presente que los presupuestos oficiales publicados por el promotor del proyecto son muy relevantes para quienes estén interesados en participar de los diferentes procesos de contratación, motivo por el cual, el grado de precisión de éste debe ser el mejor posible, a fin de garantizar el éxito del concurso y facilitar la comparación de las ofertas económicas recibidas.

Además, los presupuestos deben incluir todos los impuestos y gravámenes que apliquen en el país y/o ciudad en la que se pretende construir el sistema de metro, con el objetivo de evitar desvíos por valores no previsto.

Si bien es cierto que ninguna de las etapas antes mencionada se debe subestimar, aquella que requiere mayor estudio y cantidad de recursos para la valoración de sus costos asociados, es la de construcción y suministros. En efecto, los errores en el cálculo de su presupuesto podrían tener consecuencias considerablemente negativas para el proyecto. Ello se debe al mayor peso porcentual y de plazo que tienen las inversiones de este tipo, en comparación a las de otras fases.

Además, ésta, en particular, es una etapa que se podrá dividir en las siguientes especialidades (sin ser un listado no taxativo de las mismas):

- Obras civiles de túneles (viaductos o vías a nivel según sea el caso) y estaciones (estructura), detección y extinción de incendios, acabados arquitectónicos e iluminación.
- Medios de elevación (escaleras mecánicas y ascensores).
- Vías.
- Catenaria o hilo de contacto, potencia y alimentación eléctrica.
- Equipamiento electromecánico: ventilación forzada y sistemas de bombeo.
- Sistema de señalamiento y comunicaciones.
- Suministro de Material Rodante (trenes).

Finalmente, y a medida que avanza el proyecto, es muy importante cuantificar e incluir en el presupuesto los costos por expropiaciones o reasentamientos, reubicación de servicios públicos existentes, medidas de mitigación ambiental, así como toda actividad o inversión que- si bien no es parte de una especialidad técnica del sistema- será necesaria para la ejecución de las obras.

Las tareas son críticas en la etapa de Planificación, ya que tener definido un orden de magnitud de la inversión que se requerirá, es una herramienta estratégica y de control que permite la toma decisiones. Adicionalmente, ayuda a presentar la iniciativa de manera más integral a todos los interesados, y en particular a las autoridades que definen su avance, teniendo en cuenta no sólo los aspectos técnicos y los beneficios de un sistema de transporte masivo como el que se impulsa, sino también sus costos asociados.

La necesidad de generar esta información es básica para el desarrollo y continuidad del proyecto, por lo que es uno de los primeros datos que se deben producir y actualizar en la medida que avanzan las definiciones y detalles técnicos, a fin de disminuir riesgos por costos no previstos y aumentar el grado de certidumbre respecto de su viabilidad económica y financiera.

Así, cuando el promotor del proyecto no cuenta con experiencia previa en la ejecución de iniciativas metroferroviarias, se recomienda optar por las siguientes opciones:

- Tomar referencias de proyectos similares con condiciones de borde asimilables.
- Contratar empresas consultoras especializadas para elaborar una primera estimación de los costos asociados.

Cuando se opta por contratación de empresas consultoras especializadas, que en general son extranjeras cuando un país no ha desarrollado esta industria, es preferible tener claridad respecto de los supuestos, los escenarios y las variables que se toman para realizar la estimación de tarifas, toda vez que pueden existir diferencias importantes entre una nación y otra como- por ejemplo- en el valor de la mano de obra o en los impuestos locales.

Una vez que se avanza en el desarrollo de todo y, en particular, para determinar el costo de la etapa de construcción de obras civiles y suministros, se recomienda el uso de *softwares* especializados.

También, es mejor expresar el presupuesto en monedas de baja volatilidad, como el dólar o el euro, lo que facilitará comparar los costos estimados con el de otros proyectos, y así contar con puntos de referencia.

Finalmente, al concluir la etapa de Planificación, se sugiere seguir las recomendaciones hechas por el *Project Management Institute*[8] para la elaboración, gestión y control del presupuesto.

8 www.pmi.org

Con todo, es importante resaltar la relevancia del presupuesto como un elemento fundamental de planificación y control, que se debe entender como una herramienta que requiere, y a su vez permite, la integración de los diferentes equipos técnicos en cada una las etapas del proyecto.

Dado que en general los recursos son escasos, una buena estimación de la valorización total– en conjunto con la de los plazos de ejecución- permitirá enmarcar la iniciativa entre dos límites que servirán de control posterior: una línea temporal y la necesidad de recursos a invertir.





3.7 Flujo financiero

En la etapa de planificación, complementariamente a la estimación de costos y plazos, el modelo financiero del proyecto se constituye como un dato de gran relevancia para la toma de decisiones, y principalmente para la presentación del proyecto ante las diferentes instituciones interesadas en el financiamiento del mismo.

Así, el objetivo de esta actividad es el de establecer el flujo de inversiones estimado, a fin de prever las necesidades de recursos durante las diferentes etapas de implementación.

El flujo preliminar de inversiones es el resultado de distribuir, de manera coherente, los costos en el plazo de ejecución previsto.

Es muy importante tener en cuenta que cada paso del proyecto requiere un flujo de inversión particular, y que es deseable desde el inicio tener claridad sobre las necesidades financieras que tendrá cada etapa para desarrollarse y completarse con éxito.

El movimiento financiero para la fase de desarrollo de ingenierías y especificaciones técnicas, es diferente al que se deberá considerar para la construcción de infraestructura y suministros. Este último, también será distinto al flujo financiero de puesta en marcha y operación.

A medida que se avanza en el proceso de definiciones técnicas, económicas y de plazo, se hace necesaria la actualización de los flujos previstos, pues hay que tener presente que, así como el grado de detalle del alcance técnico permite mejores precisiones respecto del presupuesto y de los plazos de ejecución, esto a su vez también modifica la planificación financiera.

Además, es recomendable contar con el plan de inversiones anuales, el cual se actualizará en función de las nuevas versiones del presupuesto y del cronograma del proyecto. Si bien no se considera una tarea que pueda atrasar el normal desarrollo de la planificación, la oportunidad de conocer esta información a medida que avanzan las actividades, permite tener mayor certidumbre respecto de las necesidades presupuestarias de cada una de las áreas involucradas en la promoción, implementación y mejora de la eficiencia en la asignación global de los recursos.

En esta etapa inicial se aconseja generar flujos plurianuales de inversión para la totalidad del proyecto, así como para cada una de las grandes etapas preconcebidas.

Los datos esenciales para la elaboración del plan financiero preliminar, y sus actualizaciones, son

el presupuesto y los plazos de ejecución, totales y parciales, de cada una de las etapas o subproyectos. Si bien inicialmente se presentan desagregados por año, en la medida que avanzan las definiciones de sus datos de entrada, es posible su disociación semestral o incluso mensual.



Se tiene que considerar que, independientemente del valor/cantidad de las inversiones que se requieran en las etapas, la correcta previsión de su distribución en el tiempo minimiza el riesgo de no contar con los recursos necesarios para la ejecución de cada una de ellas.

> Es común que el mayor análisis del flujo de inversiones se realice para la etapa de construcción de infraestructura, sistemas y de adquisición de Material Rodante. En este contexto, se recomienda otorgar a cada fase (estudios, ingeniería, construcción y puesta en marcha) la relevancia que cada una de ellas merece, a fin de evitar correr riesgos innecesarios debido a una deficiente planificación de los recursos.

Para el flujo o plan de inversión preliminar, se requiere que sus datos en entrada- presupuesto y plazo- sean confiables y cuenten con la precisión acorde al tipo de análisis que se está generando, pues de esta manera se garantiza una distribución realista de las inversiones y una planificación ajustada a la necesidad de recursos.

Es menester indicar que, al igual que otras tareas, el resultado y la calidad de los datos obtenidos serán un *input* para otras etapas del proyecto como, por ejemplo, para la identificación del Modelo de Negocio y Financiamiento. En este contexto, se debe tener presente la importancia que reviste esta información para los futuros inversores/financiadores internos o externos, toda vez que permite tener conocimiento previo de los recursos necesarios a lo largo del periodo elegido.

3.8 Relaciones con la comunidad y Medio Ambiente

Durante la etapa de Planificación, es necesario realizar el análisis de cómo el proyecto será percibido por los *stakeholders* y su impacto en el Medio Ambiente, elementos necesarios para la construcción de un proyecto de metro sustentable y socialmente aceptado, necesitado y querido.

3.8.1. Relaciones con la comunidad

Al planificar, corresponderá elaborar y ejecutar una propuesta general de estrategia para que los metros avancen en el fortalecimiento de su relación con la ciudad y sus habitantes, especialmente a nivel comunitario, tanto en los procesos de construcción, como en la operación de sus líneas.

El ámbito de gestión que aborda esta estrategia es el de las relaciones comunitarias, entendidas como las interacciones entre la empresa (incluyendo a sus trabajadores directos e indirectos, sus procesos, proyectos e infraestructura) y las personas, instituciones y grupos de interés que conforman el tejido social a escala local.

Este tipo de lógicas comunicacionales abarcan las principales interacciones de la institución gestora del proyecto y contratistas, con los actores sociales que forman parte de sus zonas de influencia, quienes pueden verse beneficiados o afectados por acciones u omisiones en la construcción y/u operación de estas iniciativas.

Las definiciones que deben plantearse en las relaciones con la comunidad, tendrán como objetivo contribuir de manera significativa al logro de las respectivas estrategias corporativas, especialmente en los aspectos referidos al rol que deben jugar los metros en la dimensión social y urbana de las ciudades latinoamericanas.

Durante la etapa de Planificación se debe lograr que el proyecto, respondiendo a las demandas, adquiera la legitimidad social que garantice su sentido ante la comunidad y minimice las fricciones con el entorno. En este sentido, dicha "legitimidad social" puede ser entendida como "la percepción generalizada o supuesta de que las acciones de una entidad son deseables o apropiadas en el marco de sistemas socialmente construidos de normas, valores, creencias y conocimientos" (Suchamn, 1995).

Según esta definición, la construcción social de la legitimidad ocurre a través de una especie de "examen de congruencia" entre el comportamiento de la organización y los valores, creencias y conocimientos de las audiencias o públicos que están en posición de evaluarla. En suma, la legitimidad es una propiedad emergente, resultado de la trayectoria o patrón de comportamiento a lo largo del tiempo, y cuya coherencia es evaluada de forma colectiva por observadores que comparten esos valores, creencias y/o conocimientos.

Entonces, la legitimidad social de los actos de una empresa es un factor muy relevante para su estabilidad y sostenibilidad de la operación, en la medida que ella promueve la colaboración de los *stakeholders* y reduce la conflictividad. A su vez, juega un rol fundamental en la credibilidad, pues las organizaciones consideradas legítimas son a la vez mejor comprendidas en sus propósitos y percibidas como más predecibles y confiables.

Todo pasa por la generación de confianza en el relacionamiento, pero las experiencias o vivencias colectivas han demostrado que la "corresponsabilidad comunitaria" en los procesos de sensibilización (de adentro hacia afuera) y socialización (de afuera hacia adentro)

en los procesos de gestión social de obras de infraestructura o proyectos, se legitiman cuando se materializa esa corresponsabilidad, ya que el empoderamiento y apropiación en la memoria colectiva de la comunidad, se expresa en actitudes comportamentales en acción de la construcción de ciudad.

Para el relacionamiento con los *stakeholders* de una comunidad, cabe anotar que allí se deben identificar las organizaciones o individuos que puedan tener interés en las decisiones o actividades que desarrolle la empresa, y que tengan una relación directa con el proyecto a implementarse en sus diferentes etapas.

Esta estrategia de relacionamiento comunitario asume la importancia del diseño de procedimientos y métodos para promover la legitimidad social, no sólo en el ámbito de la comunicación, sino en todos los referentes a la empresa, incluyendo el diseño de proyectos y las prácticas concretas de su ejecución.

La comunicación es transversal al proceso de gestión social, ya que la tarea de homologación de lenguajes es un ejercicio sociolingüístico que adopta maneras y comportamientos, y- de hecho- puede sumar o restar en la generación de confianza en el relacionamiento con la comunidad: una palabra mal expresada puede agredir más que un proceso de obra complejo, rompiéndose la "armonía" con este grupo.

En relación con lo anterior, esta visión considera que su función principal debe ser la de facilitar las condiciones para la aceptación masiva de las prácticas de la empresa, por tanto, éste es el objetivo general que se propone cumplir.

Para que esta misión sea cumplida de manera satisfactoria, es necesario que las empresas adopten una serie de prácticas (en algunos casos nuevas o distintas), todas articuladas por una clara convicción de diálogo y contribución social, que requiere ser transmitida por la empresa en todas sus interacciones.

Tal como fue planteado anteriormente, la comunidad hace un "examen de conciencia" acerca de las motivaciones de la institución en sus distintas decisiones. Si esas intenciones carecen de un marco valórico compatible con el que utiliza el grupo social, la legitimidad no será fácil de obtener y la conflictividad, el resultado más frecuente.

Así, se plantea que las motivaciones deben hacerse explícitas y materializarse en prácticas efectivas, visibles, transparentes y contrastables por la comunidad, buscando satisfacer sus necesidades más sentidas, no caprichos políticos.

Para materializar este propósito, se plantea incorporar como lineamientos y/o criterios organizacionales las siguientes consideraciones:

- Mantener canales abiertos y expeditos, y una actitud disponible para el diálogo directo (canales de ida y vuelta para asegurar la retroalimentación) con vecinos, organizaciones y líderes sociales, autoridades locales y las demás partes interesadas que se reconozca puedan ser afectadas o beneficiadas.
- Identificar oportunamente los impactos, beneficios, conflictos o controversias de los proyectos, recogiendo la visión de la comunidad y las autoridades locales para definir la forma de gestionarlos. Hacer seguimiento a las situaciones registradas.
- Hacer que los procesos de decisión cumplan las normativas establecidas a toda escala, y consideren distintas perspectivas, necesidades e inquietudes de la comunidad, permitiendo una relación armónica y participativa.
- Hacerse cargo oportunamente de los errores e inconvenientes, y gestionarlos de manera responsable. Los procesos deben tener una línea base que permita el seguimiento diario y la evaluación.

Asimismo, como parte de las relaciones comunitarias, es posible llegar a plantear una serie de acciones y contenidos que abarcan los siguientes objetivos:

- Conocer y mantener información permanente de los grupos de interés relevantes para la operación y los proyectos.
- Prevenir y reducir el impacto socio ambiental y sus conflictos, y aprovechar el conocimiento local para la mejora continua de los proyectos.
- Generar y mantener vínculo proactivo y permanente con organizaciones sociales y municipios, favoreciendo la confianza mutua y la cooperación para el desarrollo sustentable de la ciudad.
- Generar capacidades organizacionales y un proceso de mejora continua en este ámbito de gestión.

Será tarea fundamental de esta etapa establecer y mantener relaciones cuidadosamente, a fin de controlar las expectativas y garantizar que el primer contacto de los interesados con el proyecto propuesto sea positivo.

3.8.2. *Medio Ambiente*

También, se requiere tener en cuenta los aspectos ambientales con los cuales el proyecto se relaciona, para lo cual es imprescindible efectuar estudios de análisis ambiental que aseguren que se cumplirá con la legislación vigente en cada país, y que por tanto mitigará, compensará y restaurará los potenciales impactos en el Medio Ambiente.

El análisis ambiental debe desarrollarse teniendo en cuenta las exigencias normativas, pero sobre todo entendiendo que es necesario para el impulso de un proyecto sustentable.

A modo general, se propone:

- Descripción del proyecto: resumen en el cual se indiquen las etapas, obras físicas y acciones que pueden tener algún efecto en el ambiente (aire, aguas superficiales, aguas subterráneas, suelos, medio ambiente biótico, medio ambiente social y cultural, y la infraestructura existente).
- Descripción del entorno o Línea de Base: se debe efectuar, mediante información bibliográfica o trabajos de campo si fuese necesario, una reseña del hábitat completo en el cual se emplazará el proyecto, considerando el Medio Ambiente físico, humano y de infraestructura.
- Estimación de residuos y emisiones: se deberá efectuar una apreciación detallada de los residuos del proyecto, en base a factores de emisión internacionalmente aceptados, como- por ejemplo- los de la Environmental Protección Agency (EPA) o normas europeas (EURO).
- Estimación de impactos ambientales: en base a métodos internacionalmente aceptados, se deberá prever los potenciales impactos que la iniciativa genere en el ambiente, ya sea empleando técnicas semi-cuantitativas (análisis multicriterio) o cuantitativas (modelación de ruidos y de emisiones atmosféricas), teniendo siempre presente la normativa local vigente.
- Medidas de mitigación, compensación y reparación: una vez estimados los impactos ambientales del proyecto, se deberá proponer las medidas de mitigación, compensación y/o reparación necesaria para que sus efectos cumplan la normativa vigente cuando existan leyes específicas- o medidas- que permitan tener aceptación de la propuesta por parte de los *stakeholders*, cuyo relevamiento se efectuará en el proceso de relaciones comunitarias propuesto anteriormente.

- Plan de cumplimiento de la legislación aplicable o Plan de Manejo Ambiental: una vez efectuada la determinación de impacto e identificada la legislación ambiental que aplica, se deberá elaborar un plan de cumplimiento de la normativa, indicando específicamente la forma en que se respetará cada artículo legal. Además, se deberá elaborar un plan de manejo ambiental para las etapas de construcción y operación del proyecto, que incluya:
  - La identificación de las normas ambientales aplicables al proyecto o actividad.
  - La descripción de la forma y fases en las que se dará curso a las obligaciones contenidas en la normativa ambiental, incluyendo indicadores de cumplimiento.
  - El listado de los permisos y pronunciamientos ambientales aplicables al proyecto o actividad.
- Estimación de costos ambientales: se deberá calcular los costos de las medidas ambientales que serán incorporadas al proyecto, y que permitirán el cumplimiento normativo.
- Estimación de costos de mitigación de impacto vial: finalmente, hay que considerar en esta primera etapa de planificación, que en la fase futura de construcción se manipularán zonas en superficie como veredas y calles, que tienen que ser entregadas junto con el proyecto de metro con el mismo nivel de funcionalidad que tenían antes del inicio de las obras.

Los estudios ambientales, ya sea en su contenido, como en la oportunidad en que deben efectuarse, dependen de la legislación vigente. No obstante, e independiente de aquello, se recomienda efectuar el análisis para el desarrollo de un proyecto sustentable.

En algunas legislaciones, es imprescindible la obtención de un permiso ambiental para la implementación del proyecto en las etapas posteriores de construcción y operación y, sin el cual, nada puede realizarse. De cualquier forma, la información necesaria para obtener licencia ambiental, estudio mediante, debe provenir de la ingeniería desarrollada en la etapa de planificación.





3.9 Conclusiones

Los aspectos analizados para la etapa de Planificación de los proyectos de metro, manifiestan la necesidad de contar con adecuados análisis de contexto, en el sentido de considerar las múltiples variables y su evolución en el entorno urbano, y así dimensionarlos mediante adecuadas estimaciones de demanda. Ésta debe incorporar análisis socioeconómicos, territoriales y de la red de transporte intermodal donde el proyecto se inserta, para entender a éste como parte integral del sistema de transporte público.

Así, a partir de los estudios de demanda y socioeconómicos–territoriales, se deberá definir el diseño constructivo del proyecto, definiendo- entre otros aspectos- los niveles de confort, calidad del servicio y Grado de Automatización.

Esta fase debe considerar la definición del tipo de proyecto y los métodos constructivos que se emplearán, considerando que- dado el avance tecnológico actual- en la práctica no existen soluciones imposibles, y éstas dependerán de los costos asociados y de otros criterios tales como: plazos, mínimos técnicos, experiencia, logística, marco legislativo y aspectos sociales y de gobernanza.

Entre los grandes factores que se deben incorporar también, está la relación con los *stakeholders* del proyecto, tanto en sus aspectos de relaciones comunitarias, como en el impacto en el Medio Ambiente.

Con todo, la planificación debe lograr que el proyecto- respondiendo a las demandas- adquiera la legitimidad social que garantice una iniciativa sentida por la comunidad, y minimice las fricciones con el entorno. Para ello, el diagnóstico debe tener como objetivos identificar oportunamente los impactos que se pudiesen producir, abrir canales expeditos de comunicación, incorporar las inquietudes de la comunidad, y establecer un sistema de gestión de las relaciones entre todos.

Finalmente, respecto de los impactos en el Medio Ambiente- e independiente de las legislaciones de cada país–, en esta etapa es imprescindible contar con una adecuada descripción del proyecto, establecer las condiciones iniciales del medio, estimar las emisiones, definir y diseñar las medidas de mitigación de éstos, establecer un plan de cumplimiento de la legislación ambiental local, y prever los costos de las medidas ambientales para incorporarlas en los flujos del proyecto.





4. MODELO DE *NEGOCIO* *Y FINANCIAMIENTO*

Luego de la planificación, uno de los puntos esenciales de las definiciones de un proyecto metroferroviario es el financiamiento. De hecho, puede haber cientos de estudios concretos o múltiples alternativas de diseños preliminares adecuados, pero, sin el financiamiento, sólo serán buenos análisis que no permiten por sí solos viabilizar la construcción.

En este contexto, y para efectos de cómo estructurar el financiamiento, se desarrollan dos ideas fundamentales: un proyecto de inversión pública o de Asociación Público- Privada (APP), o, en el otro extremo, la concesión total de exclusiva participación privada.

Obviamente, cada país debe velar por asegurar un método de financiamiento que se condiciona a las realidades locales y, por tanto, la estructura puede ir desde aporte del gobierno (central y/o local), hasta una combinación de escenarios, básicos o por etapas, integrales para la ejecución de un proyecto por terceros.

Por cierto, la obtención de financiamiento público puede ser normalmente a fondo perdido; establecido en los activos de un país o región a través de los mecanismos de presupuesto anual de gobierno; determinado como aportes de municipios locales; y- en casos muy aislados- estipulado mediante tributos territoriales o de otra índole.

Se plantea, desde la visión teórica, que la virtud de incorporar al sector privado mediante una APP permite financiar obras de alta rentabilidad social con recursos privados, haciéndolas económicamente beneficiosas al permitir la recuperación de la inversión gracias al pago por uso de la infraestructura, u otro mecanismo.

Dentro de las ventajas que entregan las APP, está el eventual ahorro en costos por eficiencias del sector privado, tecnologías innovadoras y economías de escala, así como la transferencia de riesgos entre ambos sectores; y que, al tener más y mejores recursos para la ejecución de un megaproyecto, la aprobación y toma de decisiones se torna más veloz.

El éxito de las APP requiere una combinación de factores que conducirán a un proceso propicio para atraer al sector privado, garantizando al mismo tiempo el logro de objetivos de desarrollo de infraestructura pública.

Normalmente, la justificación para el uso de un acuerdo de APP, en lugar de la contratación pública convencional, se basa en la tesis de la distribución óptima del riesgo con el socio privado, de forma de ofrecer una mejor “relación calidad-precio” para el sector público y- en última instancia- el usuario final. Existen diversos ejemplos en ambos casos, por lo que cada país debe velar por entender las razones de uno u otro y, establecida las condiciones, entonces tomar la decisión objetivamente para la ejecución de un proyecto.

Los esquemas de APP poseen un nivel más elevado de complejidad que la contratación pública convencional. Se requiere de una preparación y planificación detallada del proyecto, así como una gestión adecuada durante la fase de contratación para incentivar la competencia entre los oferentes. También, se requiere un especial cuidado en el diseño de contratos de manera de establecer estándares de servicio, asignar los riesgos y alcanzar un equilibrio aceptable entre los riesgos comerciales y devoluciones. Estas características requieren habilidades a desarrollar en el sector público que no siempre se encuentran normalmente en la contratación convencional.

Si entendemos, entonces, la selección del Modelo de Negocio como la deliberación entre las diversas alternativas en el financiamiento y la gestión de la implementación del proyecto, es importante entender las diferencias entre estas opciones, sus ventajas y desventajas; misión que nos hemos propuesto delinear en este capítulo.

4.1 Consideraciones previas a la selección de un Modelo de Negocio

Para la selección del Modelo de Negocio hay que considerar una serie de elementos que son necesarios y críticos para resolver en base a la situación en que se encuentra la empresa y/o autoridad que está a punto de desarrollar un megaproyecto de metro, y que permite- una vez definidos- dar prioridad al diseño definitivo y ejecución del proyecto.

Esta decisión puede ser la más importante y de influencia en la vida útil del proyecto, por lo que estos elementos pasan a ser claves para resolver el financiamiento:

- Volumen de inversión CAPEX (*Capital Expendure*), OPEX (*Operating Expense*).
- Marco legal e institucional.
- Aspectos técnicos del proyecto.
- Viabilidad económica- financiera.
- Relaciones con la comunidad y Medio Ambiente, riesgos y responsabilidades.

4.1.3. ***Inversión***

En todo proyecto, ya sea público o de participación privada, es importante estimar los costos relacionados con la implementación del mismo. La magnitud de éstos puede ser una limitación importante para la autoridad y, por tanto, no estar en condiciones de flujos del país o región para absorberlos en el corto- mediano plazo.

Otro efecto importante en el monto de inversión es contar con los recursos de moneda local o extranjera para hacer frente las necesidades del proyecto, además del impacto que, eventualmente, genera en las cuentas nacionales.

Se distinguen dos categorías: CAPEX y OPEX.

- **CAPEX:** corresponde a la suma de los recursos destinados a la implantación de la infraestructura necesaria para el emprendimiento. La mayor parte de las inversiones generalmente ocurre en los primeros años del proyecto, resultando en un mayor esfuerzo financiero en este período.

Se debe contemplar, además, la necesidad de reinversiones, con el fin de actualizar, readecuar y/o expandir el proyecto desarrollado. A modo de ejemplo, el listado siguiente corresponde a aquellos ítemes posibles de considerar en el CAPEX de un proyecto de metro:

- Administración.
- Asistencia técnica.
- Expropiaciones.
- Modificaciones de servicio.
- Obras civiles.
- Proyectos y estaciones.
- Inspecciones técnicas.
- Equipamiento extranjero.
- Equipamiento nacional.
- Impuesto moneda extranjera.
- Imprevistos.
- Material Rodante.

- **OPEX:** los gastos operacionales o de explotación son todos aquellos que están directa o indirectamente relacionados con la prestación del servicio, una vez en marcha el proyecto. Especial atención se debe prestar al proceso de estimación de este valor, ya que puede alterar significativamente los resultados del flujo de caja. Algunos ítemes de los gastos presentan variaciones de precios en un período distinto de aquel en que fue elaborado el flujo de caja; por ejemplo, insumos cuya variación histórica presenta desviaciones de los índices de inflación y/o variación cambiaria. En este caso, se debe realizar un tratamiento especial de forma de reflejar estas desviaciones.

  En los proyectos de metro, los principales gastos operacionales son: mano de obra administrativa y operacional, energía eléctrica, y mantenimiento. El detalle, se presenta a continuación:

  Mano de obra administrativa y operacional

  Debe ser dimensionada considerando el nivel de servicio definido en la etapa de planificación, la legislación laboral y los acuerdos colectivos, los índices de ausentismo laboral, el mercado local de mano de obra, y el análisis de conveniencia y posibilidades de subcontratación.

  Energía eléctrica

  El diseño del sistema eléctrico a ser implantado, en función de la confiabilidad y disponibilidad requeridas, definirá la tensión de alimentación requerida al proveedor. A partir de ahí, se debe investigar las formas de adquisición y suministro de energía disponibles en el mercado para establecer el costo básico de este insumo. El proyecto de los sistemas operativos, del Material Rodante a ser utilizado, y el plan operativo permitirán estimar el consumo y la demanda de energía requerida para que finalmente se pueda calcular el gasto por concepto de energía eléctrica.

  Mantenimiento

  Los costos básicos para el mantenimiento se definen a partir de la forma en que el sistema está diseñado. Dependiendo del proyecto definido para infraestructura, sistemas y equipos, hay variaciones significativas. Por ejemplo, la decisión de un sistema neumático de apertura y cierre de puertas para el Material Rodante, necesitará más gastos en mantenimiento que un sistema eléctrico.

  Otro factor que influye en el costo de mantenimiento es el nivel de servicio. Un ejemplo es el sostenimiento del Material Rodante en función del kilometraje recorrido, que a su vez es definido por el programa operacional para garantizar la oferta del servicio estimado en el estudio de demanda.

  Los repuestos y los materiales, nacionales e importados, deben prestar especial atención a la proyección de los costos, especialmente en los países de América del Sur que carecen de fabricantes especializados.

  Finalmente, deben ser considerados los factores asociados al vandalismo, y el contexto ambiental y climático.

4.1.4. *Marco legal e institucional*

Para cada proyecto, es importante definir la estructura legal e institucional de la organización que permita una conformación integral del mismo. El modelo debe incluir al o los mandantes. En algunos casos, éstos se constituyen con una combinación de gobiernos locales, regionales o nacionales, y se designa la entidad desarrolladora del proyecto, aquella que liderará desde la posición del mandante. Por ejemplo, “Oficina Metro” de un ministerio cualquiera con competencias para la infraestructura en transporte, o una empresa u organismo público que lidere la realización de tan magna tarea.

En esta revisión, es clave el liderazgo político del proyecto, ya que debe agilizar las decisiones, no trabar con excesiva burocracia, ni menos entorpecer las decisiones técnicas. Todo, velando por los procesos de desarrollo del proyecto, con la premisa principal de transparencia y competencia abierta.

Por lo anterior, es importante el marco legal e institucional que permita asegurar el correcto desarrollo en cada fase de la construcción y en la operación; asimismo, asegurar el permanente financiamiento para la ejecución de obras, y responder las obligaciones financieras oportunamente ante los diversos contratos de acuerdo a cumplimiento de avance e hitos.

La estructura institucional que soporte las decisiones debe contar con un equipo de alto rendimiento y focalizado (de pocas personas) que permita gestionar el proyecto a través de la simplificación y agilización de las decisiones, idealmente constituir un equipo de dirección (gobernanza de la iniciativa).

4.1.5. *Aspectos técnicos*

Lo principal en este aspecto, es la presencia de un líder técnico del proyecto. Se debe tomar en consideración- para efectos de cualquier modelo de negocio- que la responsabilidad final de la decisión de las características principales de diseño del proyecto es del propietario del mismo, y no debe ser delegada a terceros.

Por otra parte, es vital desde lo técnico la correcta selección del método constructivo, dando primera prioridad a la seguridad en la construcción, particularmente manteniendo ésta por sobre las consideraciones lógicas que a veces intentan priorizarse de costo y plazo. No debe dejarse abierto, a objeto de definir el adecuado Modelo de Negocio, a criterios de proyectos que sean complejos. Así, la premisa debe ser: estaciones sencillas, simples y funcionales, dejando claro desde el inicio si se contará o no con espacios para promoción de Negocios Accesorios o No Tarifarios. En este contexto, mirar a largo plazo el impacto de las decisiones de diseño en un adecuado bajo costo de mantenimiento futuro, es clave para mantener la relación costo - beneficio entre CAPEX y OPEX.

Por otra parte, se recomienda estudiar las alternativas técnicas de ejecución por tramos y tipologías constructivas, con el fin de identificar y cuantificar ahorros que optimicen el beneficio de cada una de estas opciones. De la misma manera, las alternativas de trazado geográfico deberían considerar, adicionalmente, el tipo de construcción: subterráneo, a nivel o en altura, aunque puede componerse de una mezcla de dos o tres de estos tipos.

En relación al equipamiento, uno de los aspectos esenciales es la definición del proyecto en relación a su nivel de automatismo, que tiene impacto en la inversión y en el costo de operación, lo que apunta a una decisión clave de mayor costo en la inversión inicial probablemente, pero de menor valor en la explotación; aspecto que es relevante al momento de evaluar la disponibilidad de caja para el financiamiento.

Con todo, es claro que las definiciones técnicas aportan condicionantes al Modelo de Negocio que finalmente se propone para cada proyecto, y esto es parte del análisis político-financiero-técnico que debe realizarse para la toma de decisión al respecto.

4.1.6. *Viabilidad económico - financiera*

Los elementos técnicos de diseño, de demanda, de inversión y de flujos financieros dan todos los *inputs* para la evaluación económica de un proyecto, la que tiene por objetivo identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión, comparada con la situación antes de la implementación del mismo. Este peritaje es un método de análisis útil para adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas, y se hace necesario para evaluar los costos que conlleva hacerlo desde la perspectiva de una obra de infraestructura pública o con participación de privados.

Al hablar de evaluación económica, es común confundirla con la evaluación financiera, pero es importante distinguir que en ésta última se considera únicamente la vertiente monetaria de un proyecto, con el objetivo de considerar su rentabilidad en términos de flujos de dinero; mientras que, la primera, integra en su análisis tanto los costos monetarios, como los beneficios expresados en otras unidades relacionadas con las mejoras en las condiciones de vida de un grupo. Se puede hablar, entonces, de rentabilidad o beneficios de tipo social.

Los pasos necesarios para identificar el objeto de la evaluación económica son:

- Definir la función social (generalmente es determinada en el ámbito político-estratégico de la autoridad gubernamental).
- Definir los indicadores de evaluación (es común que los Estados determinen cuáles serán éstos y los valores de referencia aceptables en la evaluación económica).
- Establecer un sistema de recogida de información.

Para llevar a cabo la evaluación económica de un proyecto, los diferentes países de la región y de la Península Ibérica han diseñado y priorizado sus propios métodos, ajustándolos a estándares internacionales. Sin embargo, uno de los aspectos comunes y más relevantes es la correcta determinación de los costos y beneficios del proyecto.

En relación a la determinación de los costos, debemos distinguir:

- ***Costos directos:*** gastos de inversión en bienes muebles e inmuebles, personal, formación, etc. Se relacionan directamente con alguna o algunas de las actividades y resultados planificados.
- ***Costos indirectos:*** no están relacionados directamente con actividades o resultados, sino con el conjunto de ellos. Se les suele llamar "gastos de administración" o "de funcionamiento", y se refieren al pago del alquiler de oficinas, electricidad, compra de ordenadores para administración, etc.
- ***Costos valorizados:*** se corresponden con alguna actividad o servicio que no tiene una contraprestación monetaria, sino una solidaria. Por ejemplo, la mano de obra no cualificada que aporta un grupo de vecinos para el mejoramiento de un área verde en las cercanías de una estación de metro.
- ***Costos de oportunidad:*** son los realizados por seleccionar una alternativa (un tipo de proyecto) y rechazar otras. El costo de oportunidad del capital es también un indicador financiero, que se define como el mejor rendimiento alternativo, de igual riesgo, en el mercado de capitales. Se debe responder a la pregunta: ¿merece la pena invertir en el proyecto o se ganaría más dinero depositando, por ejemplo, dicha inversión a plazo fijo en un banco?

Finalmente, se debe incluir el análisis del costo marginal que busca considerar la pertinencia de gastar más para conseguir una cierta cantidad de beneficio adicional. Por ejemplo, en un proyecto de metro se debe incorporar la conveniencia de implementar una extensión de la línea, para beneficiar a nuevas comunidades no incorporadas en la iniciativa original.

Respecto a la determinación de beneficios, se debe considerar:

- ***Beneficios percibidos por las personas:*** son beneficios no monetarios distinguidos de manera subjetiva por las personas, o definidos- igualmente de manera subjetiva- por profesionales o especialistas de determinadas materias. Es el caso que se da, al poner en marcha un proyecto, en la evaluación del incremento en la calidad de vida de la población beneficiaria.
- ***Beneficios objetivos no monetarios:*** se trata de beneficios objetivos en el sentido de que su cuantificación ya está definida.
- ***Beneficios monetarios:*** se refieren casi siempre a la rentabilidad de una inversión realizada; es decir, a los beneficios financieros que se consiguen por el proyecto evaluado. Al igual que en el caso de los costos, es necesario que estas clases de beneficios, incluidos aquellos de carácter más subjetivo, se cuantifiquen. No es tan relevante en qué tipo de unidad de medida los valoricemos, como el hecho de que efectivamente se expresen en unidades numéricas.

4.1.7. ***Análisis de riesgos y responsabilidades***

En los diversos aspectos a tener en cuenta para desarrollar un adecuado Modelo de Negocio, es importante realizar un análisis de riesgos, las responsabilidades y sus mitigaciones.

En este punto, se debe poner foco relevante en la identificación de riesgos. Para el primer caso, cuando se opta por desarrollar una obra pública, se tiene todas las posibles complicaciones de parte de la autoridad política que toma la decisión, por tanto, se asume una ponderación adecuada de éstas, y lo incorpora en su desempeño.

Por otra parte, cuando se opta por un mix público/privado, la distribución óptima del riesgo con el privado es la clave que asegura el éxito de la sociedad. De la misma forma, el sistema de incentivos debe estar alineado con el riesgo asumido.

Dentro de los tipos de riesgos asociados a concesiones o APP´s, se identifican estas agrupaciones generales: riesgos políticos y macroeconómicos (relacionados a la decisión del proyecto, por ejemplo, desde la disponibilidad de flujos financieros); riesgos de cambios legislativos; cantidad de oferentes para desarrollar competencia; posibilidades de bancarizar el proyecto, etc.

También, están los riesgos inherentes, que tienen relación con la experiencia del mandante o del privado, ruta crítica y cronograma del proyecto, capacidad de integración de los sistemas, interfaces, riesgos de demanda, riesgos de diseño, etc.

Finalmente, los riesgos del mandante, bajo el prisma de entrega a un tercero de alguna parte o la totalidad de una nueva línea, se deben analizar para prever su enfrentamiento.

Es importante abordar la gestión de riesgos al inicio de la planificación del proyecto, apoyado por especialistas y equipos de experiencia en la identificación de peligros en base a grupos de trabajo, reconocer mitigaciones, definir responsables, ejecutar un plan adecuado y hacer seguimiento en las distintas etapas del emprendimiento. Esto se transforma en un proceso iterativo para alcanzar el éxito.



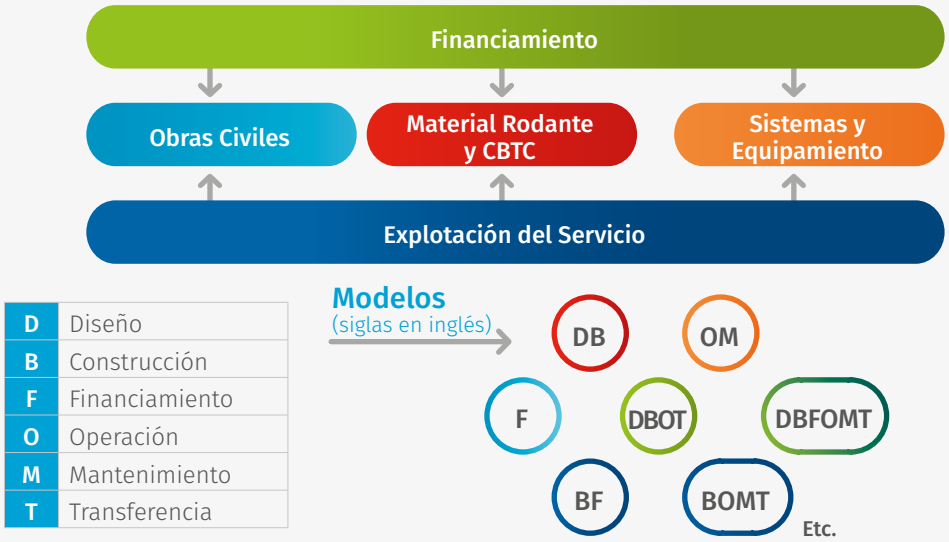
4.2 Tipos de Modelo de Negocio existentes

La realización de un proyecto de construcción de metro requiere la creación de una relación exitosa y duradera. Ante ello, es necesario un análisis previo y detallado respecto a qué tipo de modelo se aplicará, sea obra pública, concesión o APP; es decir, qué grado de externalización se optará para obtener los resultados esperados.

La figura siguiente permite visualizar de manera general el esquema al que es posible enfrentarse para la toma de decisión del tipo de modelo de negocio a establecer.

Figura 4.1

"Esquema de alternativas de Modelo de Negocio"



Fuente: ALAMYS, 2018.

El esquema expuesto permite identificar tres grandes procesos claros en el desarrollo del proyecto:

i) El desempeño de financiamiento.

ii) La ejecución de obras civiles, adquisición de equipos - sistemas y Material Rodante.

iii) La explotación del servicio.

En este caso, si todos los procesos se hacen desde la figura de aporte del gobierno (central o local), hablamos de infraestructura pública. Sin embargo, de momento que una parte de esto se entrega a terceros- privados- estamos hablando de participación pública-privada.

4.2.1. *Obra pública*

En el marco de obra pública, se entiende tanto el proceso de construcción, como de operación por parte de las entidades públicas, y la empresa o institución formada para tal efecto.

En este caso, los diferentes procesos de licitación que requiere la construcción de una línea se pueden clasificar en tres grandes grupos con el objeto de precisar los ítems de licitaciones que

se desarrollarán en el período de construcción de líneas:

Obras Civiles, que contiene los siguientes aspectos:

- Estudios- ingeniería y proyectos: desarrollo de los estudios de Ingeniería Básica y de Detalle del proyecto.
- Inspecciones técnicas y coordinación general del proyecto: licitadas en modalidad pública a empresas de ingeniería y de inspecciones; y, en el caso de túneles, con experiencia demostrada en diseño y construcción, y consorciadas o no con ingenierías extranjeras expertas en el diseño de este tipo de estructuras.
- Gestión de expropiaciones: en el caso de Metro de Santiago, por ejemplo, se delega en el Ministerio de Obras Públicas el efectuar las expropiaciones para sus obras. Es decir, el contratista no se ocupa de adquisición de terrenos.
- Modificaciones de servicios húmedos y secos: contratos u órdenes de trabajo con empresas de servicios correspondientes a electricidad, telecomunicaciones, gas, agua potable, etc.
- Construcción de obras: licitadas entre empresas contratistas civiles, normalmente bajo criterios de experiencia y solidez de las compañías. En general, corresponden a procesos de Licitación Pública bajo especificaciones e Ingeniería de Detalle conocidas (entregadas por el mandante).
- Sistemas y equipamientos nacionales y extranjeros: normalmente éstos son licitados en general en la modalidad pública internacional. El proceso se realiza bajo el cumplimiento de especificaciones funcionales técnicas y, consecuentemente, el proponente asignado provee Ingeniería de Detalle, montaje y puesta en marcha.
- Material Rodante: el mandante entrega la especificación funcional muy detallada, y la Ingeniería de Detalle (diseño) es parte del proyecto del proveedor asignado. Se acostumbra a la modalidad de Licitación Pública Internacional y, en algunos casos, se ha efectuado un proceso de precalificación de proveedores previa. Por lo general, se incluye en el concurso el suministro puesto en bodegas o talleres del mandante. En ocasiones, recientemente se ha visto la incorporación de procesos de terminación en el país mandante. Se licita adicionalmente la inspección en fábrica a través de Licitación Pública Internacional, con prestación de la asesoría hasta la puesta en marcha de todo el suministro.

4.2.2. *Asociación Público- Privada (APP)*

Existe una amplia variedad de APP's que van a depender del grado de participación de la entidad privada- en caso que exista- para el proyecto de infraestructura. Las diferencias entre los distintos modelos de APP's, tienen relación en cómo se involucra cada sector respecto al diseño, financiamiento, construcción, operación y/o transferencia al final del período.

Algunas conclusiones respecto de la amplia variedad de experiencias de APP's, en términos generales, son:

- En la mayoría de los casos se busca poder realizar proyectos que, debido sus altos costos, no son posibles de financiar en forma completa por parte del sector público, a

pesar de la importancia que tienen para el transporte de las ciudades. Se manejan cifras promedio en que los privados cubren entre el 20% y el 35% de la inversión asociada a los proyectos.

- Dados los costos involucrados, en la mayoría de las ocasiones la parte pública financia y ejecuta la construcción de la infraestructura (vías, túneles y estaciones), mientras que la privada provee el Material Rodante y los activos operacionales. Esto no limita a que existan casos de concesión integral a un tercero.
- La duración de estos convenios varía entre 30 a 35 años, con posibilidades de extensión.
- La modalidad de convenio más utilizada es DBOM (Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento, de acuerdo a la sigla en inglés), con el objetivo de que el privado considere y optimice todas las variables operacionales del proyecto desde su etapa inicial, asegurando resultados más eficientes y con rentabilidad positiva durante su gestión en la etapa de operación del sistema.
- El beneficio que una APP entrega a la sociedad, dependerá de cómo y en qué magnitud se asignan los diferentes riesgos del proyecto a las partes pública y a la privada. En los casos en que se considere a éste último como al sector mejor posicionado para enfrentar un riesgo (como el de costos de construcción, por ejemplo), entonces las responsabilidades sobre dichos valores debieran serle transferidas. Por otro lado, cuando se considere al privado menos capaz de lidiar con una determinada dificultad o desafío (como la demanda), al menos parte de la responsabilidad deberá permanecer en lo público.
- Los ingresos del privado están basados en la recaudación de todo o parte de los Ingresos Tarifarios y, en ocasiones, en la de los No Tarifarios, durante el periodo de vigencia del convenio o en pagos realizados por la parte pública en base a cumplimiento de indicadores de desempeño. Éstos, pueden estar basados en la disponibilidad del servicio, niveles de uso, calidad de servicio o un mix de los anteriores, cuyas metas son definidas al inicio del acuerdo, y ajustadas en el tiempo.

Es importante destacar que no hay soluciones ni pautas únicas a utilizar para elegir la estrategia más adecuada, sino que es relevante la clara identificación de los objetivos del proyecto y del contexto de donde estará inmerso éste por la parte pública, de modo de poder apreciar plenamente las ventajas y limitaciones de este esquema.

Lo que sí es crítico, es determinar el nivel de participación de la componente privada desde el inicio del proyecto, de modo de asegurar que las estrategias de APP's sean diseñadas de manera adecuada y regulada.

A continuación, se expondrá de forma breve las tipologías más comunes de modelos de APP's existentes[9]:

1. ***Operaciones y Mantenimiento (OM):*** se estructura una externalización basada en temas de producción, y se utiliza cuando existe operación de extrema complejidad con baja cantidad de proveedores.
2. ***Diseño y Construcción (DB):*** ampliamente escogido para obras públicas, en que es externalizado el proyecto en sí y la propia ejecución del mismo.
3. ***Diseño, Construcción, Mantenimiento (DBM):*** usado para externalizar obras de infraestructura, incluyendo su mantenimiento dado las competencias existentes por parte del contratista.

9 Las siglas corresponden a los conceptos en inglés: Operation, Maintenance, Design, Building, Financing.

4. ***Diseño, Construcción, Operación (DBO):*** opción para obras de infraestructura que incluyen la operación, dadas las competencias existentes por parte del contratista, no requiriéndose un intensivo mantenimiento.

5. ***Diseño, Construcción, Operaciones y Mantenimiento (DBOM):*** sistema de concesiones más amplio en que se traspasa desde la etapa de diseño hasta la operación.

6. ***Diseño, Construcción, Financiamiento, Operaciones y Mantenimiento (DBFOM):*** es una de las concesiones más completas, en que se externaliza el financiamiento con un periodo de recuperación estimado en función de la inversión tercerizada.

Existe una amplia variedad de combinaciones de formas de APP's que no se desarrollan en esta Guía, pues profundizar en excesivo detalle no es el objetivo de este documento y, además, existe bibliografía en abundancia que se especializa en esta temática en particular.





4.3 Casos de Modelo de Negocio existentes en ALAMYS

Entre los socios de ALAMYS se pueden encontrar diversas iniciativas de construcción, operación y mantenimiento de líneas de metro basadas en APP's, las cuales han presentado diferentes resultados.

A nivel mundial, y desde la primera experiencia registrada, correspondiente a Metro de Singapur en 1986, varios son los sistemas que han utilizado distintos modelos de APP's para realizar y ejecutar sus proyectos, logrando acuerdos entre ambos sectores en que el primero traspasa servicios o labores de su responsabilidad al segundo, bajo un claro convenio de objetivos compartidos para el abastecimiento del servicio público o del uso de la infraestructura pública.

A continuación, se presentarán las experiencias de este tipo de colaboración realizadas por: Metro Río (Brasil); Línea 2 del Metro de Lima y Callao (Perú); Subterráneos de Buenos Aires, SBASE (Argentina); y Metro de Santiago (Chile).

Se señalarán para cada uno de ellos los alcances y el tipo de modelo de colaboración utilizado.

4.3.1. *Metro Río*

Metro Río es el sistema metroferroviario de Río de Janeiro, Brasil. Su red se compone de tres líneas: 1, 2 y 4. Para el presente caso, se considerará sólo el Modelo de Negocio de las líneas 1 y 2 del sistema, que juntas suman un total de 54,5 km de red, pues la línea 4 obedece a otro modelo que no será revisado en esta ejemplificación.

Figura 4.2

"Operación de línea 1 de Metro Río"



Fuente: Metro Río.

Alcance y definición de modelo

La Concesión Metroviaria de Río de Janeiro S.A.- Metro Río, es desde 2009 una empresa del grupo Invepar-Inversiones y Participaciones en Infraestructuras S.A., y tiene el contrato de concesión para operar y mantener las líneas 1 y 2 del sistema.

La concesión de las líneas 1 y 2 fue objeto de una subasta ocurrida en 1997, que culminó con la firma del contrato de concesión válido por 20 años, renovables por igual período.

La modalidad de concesión empleada por Metro Río fue OM, es decir, Operación y Mantenimiento.

Financiamiento y participación

El contrato de concesión es uno a largo plazo, celebrado entre el Poder Concedente y el Concesionario (operador) para la prestación del servicio público, que necesita ser mantenido- durante toda la vigencia- en estado de equilibrio. En el eventual desequilibrio, ya sea a favor de cualquiera de ambos, será reflejado en la tarifa (aumento o reducción).

Sobre los ingresos obtenidos con la venta de pasajes, Metro Río tiene derecho a ingresos accesorios, entre los cuales está la explotación comercial de espacios disponibles en las áreas objeto de la concesión, siempre que estas actividades complementarias no afecten adversamente la prestación de los servicios de transporte de pasajeros.

Metro Río es responsable de administrar, operar, y mantener las líneas 1 y 2 del sistema metroviario, siendo las inversiones de responsabilidad del Poder Concedente. La ejecución de éstas, por parte de la concesionaria, deberá ser autorizada previamente por éste.

Como parte del convenio, el Poder Concedente transfirió a Metro Río la posesión de los bienes destinados y vinculados a la prestación de los servicios, entre ellos: inmuebles, estaciones, trenes y demás bienes, siendo responsabilidad del segundo velar por la integridad de los elementos que le fueron cedidos, denominados "bienes reversibles", que deberán ser devueltos al Poder Concedente al final del contrato entre las partes.

El 27 de diciembre de 2007, Metro Río firmó con el Poder Concedente el sexto "Término aditivo al contrato de concesión", prorrogándola- bajo condición resolutiva- hasta el 27 de enero de 2038. Hasta ese momento, con base en los términos hasta entonces vigentes, la concesión se cerraría el 27 de enero de 2018. La extensión del contrato se dio en contrapartida a inversiones a realizar por Metro Río (implementación de nuevas estaciones de metro, adquisición de nuevos trenes y modernización de las nuevas operaciones), por concepto de pago del otorgamiento de la concesión.

4.3.2. *Línea 2 del Metro de Lima y Callao*

El Metro de Lima y Callao es el sistema metroferroviario de transporte de la capital peruana. A la fecha, cuenta con una línea en operación de 33,1 km que cruza la ciudad de sur a noreste, y transporta 107 millones de pasajeros anuales. La línea 2, en tanto, está en construcción desde diciembre de 2014, y considera 35 km de vías, que incluyen un ramal de 8 km.

Alcance y definición de modelo

El año 2012 el gobierno peruano aprobó iniciar las gestiones para la construcción de la línea 2 en base a APP adjudicable, mediante una licitación internacional. Como resultado del proceso, en 2014 fue seleccionado el Consorcio Nuevo Metro de Lima, formado por seis empresas extranjeras y una peruana.

Figura 4.3

"Obras de línea 2 del Metro de Lima y Callao"



Fuente: AATE.

La modalidad de concesión empleada por Metro de Lima y Callao fue DBFOM, es decir, Diseño, Construcción, Financiamiento, Operación y Mantenimiento.

Financiamiento y participación

El Consorcio es responsable del diseño y construcción de la infraestructura, la adquisición del equipamiento y Material Rodante, y la operación y mantenimiento de los activos durante el período de duración del convenio que se estableció de 35 años.

Por su parte, el Estado se hará cargo de la expropiación de terrenos, la planificación y programación de la operación, y de asegurar el cumplimiento de las condiciones de construcción y operación de la concesión, teniendo como objetivo mejorar la calidad del servicio e incrementar el alcance de la infraestructura de la red básica del Metro.

Con todo, el Consorcio recibirá por parte del Estado pagos efectivos desde el inicio de la operación, y en un esquema trimestral correspondiente a la retribución por las inversiones realizadas. Estos, serán emitidos en base a los Ingresos Tarifarios obtenidos desde que la línea entre en operación, por un periodo de 35 años que dura el contrato.

Además, el Consorcio recibiría un porcentaje de servicios complementarios (arriendo de locales, publicidad, mantenimiento de otras líneas) y el 100% de los servicios opcionales (estacionamiento y arrendamiento espacios).

4.3.3. *Subterráneos de Buenos Aires (SBASE)*

Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado (SBASE) es el metro de la capital argentina. Inaugurado en 1913, se convirtió en el primer subterráneo de Hispanoamérica. Este sistema cuenta con una extensión de 55 km, constituida por seis líneas en operación.

Alcance y definición de modelo

Después de años de gestión como operador de propiedad del Estado, se definió en 1994 un nuevo Modelo de Negocio para SBASE, y se firmó el contrato con la concesionaria Metrovías para su operación y mantenimiento. Esto, con el objetivo de recuperar un sistema degradado, y mejorar así la calidad y tráfico de su servicio. En 2013, se traspasó la gestión administrativa desde el Gobierno Nacional al Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, con la misión de elevar los estándares de la calidad del servicio y el fortalecimiento de la seguridad.

La concesión de las líneas A, B, C, D, E y H tiene la modalidad de OM, es decir, Operación y Mantenimiento. Para detallar más el funcionamiento interno, es importante recalcar que la propietaria y administradora del "subte" (metro) y premetro es SBASE, encargada de realizar el planteamiento de la expansión y las inversiones sobre la red actual. Además, supervisa el acuerdo de operación y mantenimiento con el operador privado.

Financiamiento y participación

El actual contrato de concesión con Metrovías venció en diciembre de 2017, y fue extendido hasta diciembre de 2018 para desarrollar en óptimos términos un nuevo proceso de licitación. Éste, fue un llamado público nacional e internacional que busca la selección de una entidad que tome a su cargo la operación y el mantenimiento de la red subterránea y premetro, por un plazo de 12 años más opcionales de 3 de prórroga, desde enero de 2019.

El ganador, deberá constituir una nueva Sociedad Anónima de objeto único, y asumir un criterio de retribución basado en la oferta de servicios ($/por coche-km comercial- Gross Cost Contract[10]).

Respecto a las políticas y tarifas, SBASE seguirá estando a cargo de la expansión y mejora de la red, definición de los servicios de transporte (cantidad y calidad), seguimiento del contrato, Ingresos No Tarifarios, seguridad ciudadana en estaciones y trenes, y definición de la tarifa usuario; mientras que quien se adjudique el contrato de operación y mantenimiento, será responsable de la prestación del servicio de trenes y sostenimiento de la infraestructura, Material Rodante e instalaciones en general, además de la gestión de Ingresos Tarifarios, estaciones y seguridad patrimonial.

10 *Gross cost contract:* se refiere a un contrato en el cual el adjudicado tiene que asumir todos los gastos relacionados con la operación del negocio.

Figura 4.4

"Ejemplo de campaña publicitaria de Metrovías para fomentar la limpieza dentro de estaciones de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Metrovías.

4.3.4. *Metro de Santiago*

Metro de Santiago es el transporte masivo sobre rieles de la capital chilena, inaugurado en 1975. Este sistema tiene una extensión de 140 km, a través de siete líneas (líneas 1, 2, 3, 4, 4 A, 5, y 6) y 136 estaciones.

Alcance y definición de modelo

Hoy, Metro de Santiago es una empresa pública Sociedad Anónima, 100% propiedad del Estado de Chile. Sin embargo, en su origen, nació bajo el amparo del Ministerio de Obras Públicas del país, gestionado dentro de la Dirección de Metro de la entidad. En 1989, se transformó en Metro de Santiago S.A., pasando a ser una Sociedad Anónima Cerrada que se rige por las normas propias del país para Sociedades Anónimas, aun cuando sus accionistas son la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el Ministerio de Hacienda; ambos, organismos estatales.

Por ley, es una empresa de transporte de pasajeros y actividades conexas que tiene el mandato del Estado para desarrollar los proyectos de expansión de la red y posterior operación.

Financiamiento y participación

El actual escenario establecido para Metro de Santiago, respecto al Modelo de Negocio, contempla un financiamiento con aportes del Estado, junto a una parte autogestionada desde la empresa, a través de una tarifa técnica. En este contexto, Metro es el encargado de desarrollar la construcción del proyecto, operar y mantener la infraestructura y equipos, además de realizar la explotación comercial.

Como parte de la estrategia de sostenibilidad financiera, es importante destacar que un 10% de los Ingresos Totales de la estatal resultan de un Modelo de Financiamiento que incluye la exitosa instalación de diversas líneas de Negocios No Tarifarios: Publicidad, Retail, Intermodal, Inmobiliario, Servicios, Telecomunicaciones, Canal de Venta y Consultorías Internacionales.

Figura 4.5

"Desarrollo comercial en estación Escuela Militar, Metro de Santiago"



Fuente: ALAMYS.

4.4 Conclusiones

La estructuración de un adecuado Modelo de Negocio- es decir, de la estructura legal, institucional y de financiamiento, y la definición de cómo participa el Estado a través de algún organismo público o una APP- es un elemento clave para la viabilidad económica que sustenta la decisión de un proyecto de esta envergadura.

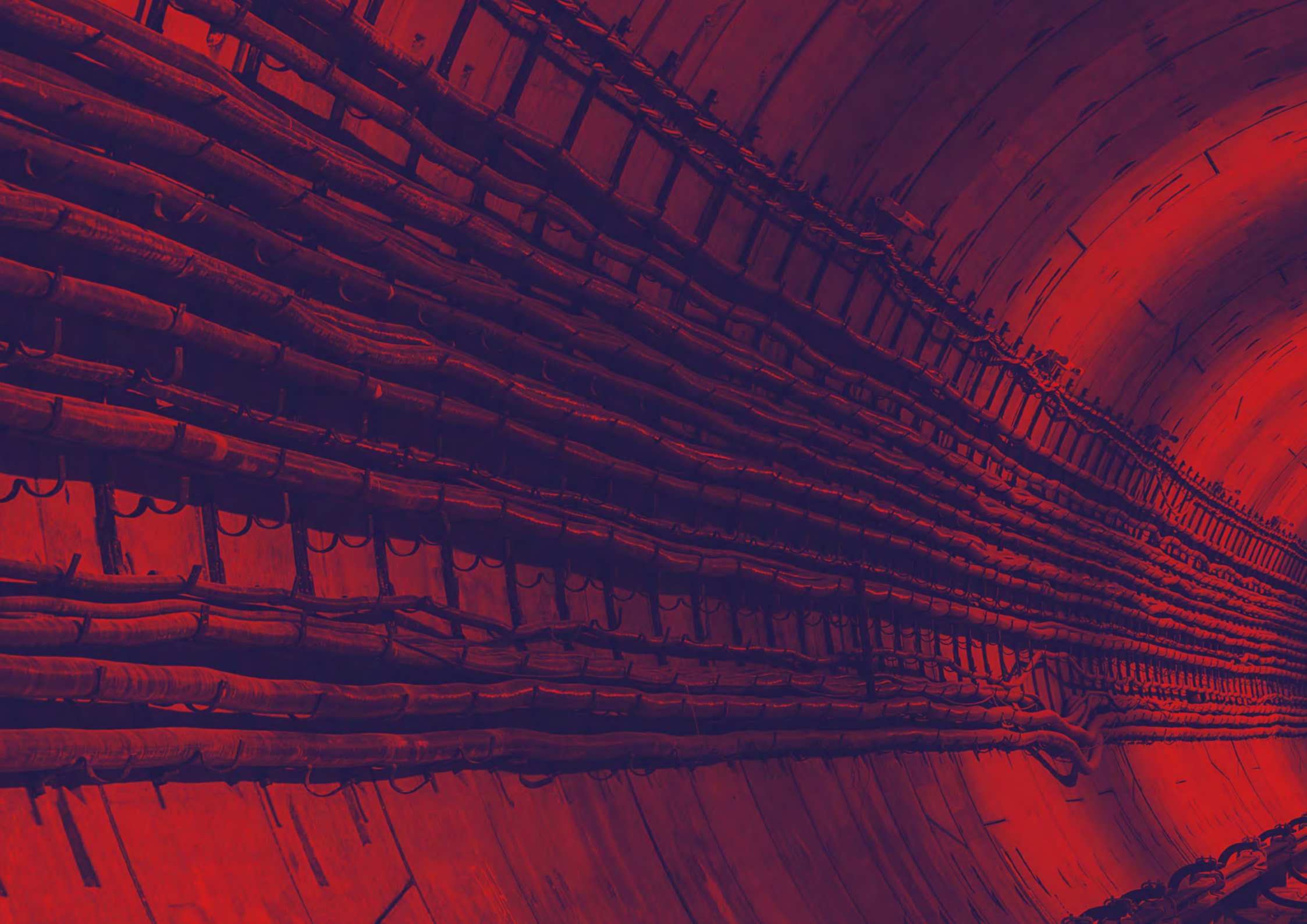
Algunos elementos primordiales para el análisis del Modelo de Negocio se basan en el nivel de inversión y la capacidad de generar flujos para financiar: los aspectos legales e institucionales; el cómo abordar de mejor forma la ejecución del emprendimiento; los atributos técnicos de definiciones duras; y los criterios de evaluación de riesgos y medidas de mitigación adecuadas.

A pesar de que existen ejemplos tanto exitosos, como de bullados fracasos en el uso de APP's en proyectos de metros, es relevante destacar que esta modalidad ha tenido un efecto transformador en el sector ferroviario urbano en los últimos años. Los gobiernos han tenido enormes dificultades en conseguir espacio en sus respectivos presupuestos para abordar el financiamiento de estas megaobras, por lo que es importante relevar el mecanismo de participación de privados, lo que redunda en una búsqueda real de soluciones a la movilidad de las personas en transporte masivo ferroviario.

Si bien no existe una forma óptima de plantear la selección de un Modelo de Negocio específico, nos asiste la convicción de que los elementos tratados en este capítulo deben ser ponderados por cada autoridad, y sujeto a la realidad local, donde será posible encontrar el mejor esquema para las condiciones dadas. Por ende, lo aquí expuesto no debe ser considerado como "recetas" únicas y siempre exitosas, pues cada contexto geográfico y socioeconómico-político, es único y distinto.

Existen iniciativas con alto reconocimiento y éxito de implementación, basado éste en una obra y explotación pública, así como también hay importantes proyectos desarrollados gracias al apoyo de privados bajo un esquema de APP.

Sin embargo, también es relevante mencionar que hay numerosos emprendimientos que han sufrido complejas situaciones, lo que no necesariamente radica en el éxito o fracaso de cómo se pensó el Modelo de Negocio; sino, probablemente, en la evaluación de riesgos y mitigaciones, y coyunturas difíciles de superar por varios años, lo que obviamente es concluyente al momento de hacer recomendaciones.





5. CONSTRUCCIÓN

Este capítulo está orientado a dar una mirada desde la experiencia de los socios de ALAMYS involucrados en esta Guía de Gestión de Proyectos, particularmente en relación a los aspectos relevantes del proceso de construcción de obras de metro, ya sean éstos de túnel, nivel o trinchera, o viaducto. Para ello, se ha tenido en cuenta la expertis profesional y particular de proyectistas, inspectores, constructores y directores de obras que colaboraron en el desarrollo de este apartado, y con el convencimiento de que es ineludible la interacción de las distintas especialidades y el conocimiento de cada una para su desarrollo.

En línea a ello, se relevará la gran importancia que conlleva la definición y decisión de un método constructivo en diferentes tipos de suelos, condiciones del entorno y normativas generales para diversos países.

Para ello, se realizará una descripción de las etapas de proyecto y de obra, desde la óptica de la ***construcción de obras civiles para contener un transporte ferroviario masivo de pasajeros,*** con el fin de colaborar en la toma de decisiones que tengan relación con las características de un mejor emprendimiento de este tipo, y de la adopción de un adecuado procedimiento constructivo.

Estas etapas se consideran fundamentales desde la fase inicial, en que la ingeniería debe resolver, técnicamente posible y de manera eficiente, la unión de dos puntos extremos (y algunos puntos intermedios) en una ciudad, cuya demanda de movilidad requiera implementar un sistema de transporte público ferroviario.

Es necesario que todas las especialidades intervengan en los procesos de diseño, complementando sus experiencias en los distintos tipos de obra.

Si bien en el presente capítulo se tratan distintos tipos de desarrollos ferroviarios y metodologías constructivas, obviamente el lector o lectora debe adoptar y asociar su interpretación al tipo de transporte ya previsto en la fase correspondiente a Planificación, junto a las definiciones del Modelo Operacional.





5.1. Consideraciones previas

La definición del trazado de un proyecto ferroviario es un tema crucial, pues la mayor parte de las decisiones tomadas en el curso de esta etapa tendrá importantes repercusiones, ya se trate de una obra nueva o acondicionada.

Todo proyectista debe considerar en las iniciativas ferroviarias los siguientes aspectos: seguridad, rigidez del sistema, las condicionantes de tipo técnicas y de tipo normativo (medioambiente, comunidad, legales, etc.), el plazo de ejecución, los costos de inversión, de la operación y del mantenimiento, y el confort en relación a la calidad de servicio.

Los tópicos más significativos del trazado se presentan en los siguientes ámbitos:

- Construcciones existentes y futuras. Urbanismo.
- Cobertura mínima en caso de túneles o alturas mínimas en caso de viaductos.
- Necesidades de explotación ferroviaria.
- Secciones tipo supuestas en la ingeniería conceptual.
- Planes o alternativas de extensión del proyecto en desarrollo.

El análisis se inicia una vez que se toma la decisión de desarrollar un trazado que deba unir dos puntos urbanos que se desean vincular con un sistema de transporte ferroviario masivo.

Dependiendo del emplazamiento del trazado, las interferencias existentes, el desarrollo urbano del área de influencia y de las características del suelo involucrado en la construcción de la infraestructura, se definirá el tipo de transporte ferroviario y los modelos constructivos a utilizar.

De cualquier manera, dependiendo del nivel de heterogeneidad de las características anteriores que se presenten, los recursos disponibles, y las interferencias actuales y futuras que el proyecto deba salvar, en la teoría se pueden combinar distintos tipos de sistemas de transporte sobre rieles (metro pesado, metro ligero, tranvía, etc.). No obstante, es muy importante evaluar las funcionalidades operacionales y de intercambio de pasajeros en la combinación de este tipo de sistemas.

Por otra parte, un mismo tipo de sistema de transporte ferroviario puede desarrollarse considerando distintos tipos de infraestructura, como túnel, a nivel o viaducto; pero no diferentes tecnologías (operacional).

Es importante mencionar los tres tipos de construcciones (o tipos de infraestructura) para un proyecto de transporte ferroviario masivo de pasajeros.

- Túnel.
- A nivel o "trinchera".
- Viaducto.

Para seleccionar el tipo de construcción, o más de un tipo por tramos, se debe tener en cuenta:

- La infraestructura de la zona urbana.
- La infraestructura subterránea, interferencias de servicios públicos.
- Posibles yacimientos arqueológicos y/o paleontológicos.
- Sectores sensibles para la comunidad (culturales, religiosos, naturales, etc.).
- Entornos con flora y/o fauna protegidas.
- Tipos de suelos.
- Fallas de suelos.
- Espacio libre hasta la construcción existente y futura.
- Napas de aguas subterráneas.
- Profundidades.

Si bien cada proyecto tiene sus particularidades-y, en ocasiones, las condicionantes ambientales del lugar de emplazamiento pueden forzar un tipo de construcción-, las características de cada tipo de infraestructura se pueden comparar conforme a lo que se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1

"Tipos de infraestructura y características de su construcción"

CARACTERÍSTICA DE COMPARACIÓN		TIPO DE INFRAESTRUCTURA		
		TÚNEL	A NIVEL	VIADUCTO
Costo		Alto	Bajo	Medio
Impacto del Tipo de Suelo		Alto	Bajo	Medio (Altura y tipo de suelo condicionan profundidad, tipo y forma de fundaciones)
Velocidad de Transporte		No está condicionada a interferencias viales	Está condicionada a interferencias viales	No está condicionada a interferencias viales
Riesgo durante la Construcción		Alto Requiere monitoreo permanente (durante y después)	Bajo	Medio Requiere monitoreo permanente (durante y después)
Resistencia Sísmica		Mayor	Mayor	Menor
Impacto ambiental (durante la construcción)	*Visual*	Bajo	Alto	Alto
	Ruido	Bajo	Alto	Alto
	Vibraciones	Bajo	Alto	Medio
	Polución	Medio	Alto	Bajo
	Residuos	Bajo	Bajo	Bajo
	Biodiversidad	Bajo	Medio	Medio
	Hallazgos arqueológicos	Alto	Alto	Medio
	Hallazgos paleontológicos	Alto	Bajo	Medio
Intervención Superficial		Bajo	Alta (Requiere una faja superficial longitudinal importante)	Media (Puede requerir planta de pre-fabricados)
Integración Urbana		Compleja (edificios verticales subterráneos)	Práctica (integración a nivel)	Compleja (edificios verticales)
Interferencias con redes existentes (agua potable, alcantarillado, aguas lluvias, comunicaciones, canales, etc.)		Media	Alta	Alta
Reintegro de Superficies Intervenidas		Máxima	Mínima	Media

Fuente: ALAMYS.

5.1.1. *Impacto Urbano e interferencias*

La calidad de la oferta del servicio de transporte producirá algunos efectos o impactos, tanto sobre los usuarios del sistema, como en el resto de los habitantes y el centro urbano.

En este sentido, el Impacto Urbano es la huella o señal que deja una transformación en la ciudad, sea positiva o negativa, como consecuencia de una modificación causada por obras u otras actividades.

El instrumento mediante el cual se evalúa la compatibilidad del proyecto de transporte ferroviario masivo de pasajeros con el entorno urbano, es el Estudio de Impacto Urbano (EIU) para las etapas de Construcción, Operación y Mantenimiento, a fin de conocer, evitar y/o mitigar- en beneficio de la población que habita la ciudad- los impactos generados a las características de la estructura vial, hidráulica, sanitaria, social y económica, así como de imagen urbana, existentes.

Los EIU son instrumentos técnicos para la planeación del desarrollo de las ciudades, que se utilizan para medir y prevenir los impactos que todo proyecto genera en su entorno, para su valoración y autorización.

Los profesionales encargados de la realización de este servicio deben contar con amplia experiencia comprobable en materia de Desarrollo Urbano, Vialidad y Transporte, ya que esto implica procedimientos metodológicos especiales para la elaboración del diagnóstico, así como de las proyecciones que plantean los diversos escenarios hipotéticos durante la construcción y operación del emprendimiento.

El objetivo esencial del EIU, es establecer las condiciones bajo las cuales se realizará el proyecto, cómo se generarán las acciones de mitigación, eliminación o prevención de los impactos manifestados, y cómo el desarrollo se integrará a la estructura urbana preexistente.

Las principales actividades que el estudio debe desarrollar son:

- **Descripción del proyecto:** debe realizarse en forma clara y concisa, cualitativa y cuantitativamente, puntualizando sus dimensiones y capacidades para dar una idea clara del mismo. Igualmente, deben describirse los objetivos o propósitos fundamentales del proyecto, esto es, responder a la pregunta: ¿qué se quiere hacer? En este punto, se señalará la situación a la que aspira la iniciativa.
- **Afectación durante las obras:** se debe considerar que durante la ejecución de las obras se producirán interferencias y molestias inevitables a las actividades cotidianas del entorno, ya sea por alteración en la prestación de servicios públicos, contaminación por ruidos, vibraciones, contaminación del suelo y cuerpos de aguas, deterioro de la vialidad adyacente (disminución de la oferta o capacidad de las vías, reducción de velocidades de circulación, etc.); todo lo cual se traduce en modificaciones notables del paisaje urbano.
- **Reubicación de interferencias:** la detección de redes existentes de servicios afectados (públicos y privados) en la construcción de un metro se denomina “interferencias” y, usualmente, se encuentran los siguientes tipos:
  - Redes de agua potable.
  - Redes de alcantarillado.
  - Redes eléctricas.
  - Redes de comunicación.
  - Redes de gas.
  - Canales de regadío.
  - Semáforos.
  - Otros.

- **Expropiaciones, servidumbres y planes de reasentamiento:** esta actividad consiste en identificar los predios, viviendas e inmuebles adyacentes necesarios para la construcción y operación del proyecto. En general, y dependiendo de la legislación de cada Estado/país relacionada con la posesión de terrenos para obras públicas, se pueden presentar las siguientes situaciones o alternativas:
  - Acuerdo o imposición de expropiación (compra de terreno).
  - Acuerdo o imposición de servidumbre.
  - Ocupaciones temporales (permisos).
  - Reasentamiento.
- **Reposición en superficie:** el trazado de proyectos ferroviarios de transporte masivo de pasajeros debe estar acompañado de diseños urbanos y paisajísticos, y no sólo contemplar la reposición de áreas verdes, pistas y veredas afectadas por las obras. También, se debe enmarcar en una lógica de regeneración o recuperación urbanística que va más allá de su función principal de movilización de personas, pues los sistemas de transporte hoy en día tratan de ser los elementos ordenadores, estructuradores y orientadores de las ciudades del siglo XXI.

  Por otra parte, la reposición de superficies es un elemento útil a la hora de proponer mitigaciones de impactos ambientales que el proyecto genera en otros aspectos o fases de su desarrollo.

Los principales factores a tener en cuenta y que, en general, forman parte de la ruta crítica de los EIU, son los siguientes:

- **Analizar los programas** sectoriales relacionados con el proyecto, a nivel del Estado, donde se citen e interpreten políticas de planeación que el desarrollo promueva o, en su caso, contravenga.
- Definir las **medidas de mitigación** para reducir las afectaciones provocadas por la construcción de las obras, que deben ser suficientes e implementadas en el menor tiempo posible.
- Elaborar un **registro de interferencias** de la forma más precisa y completa posible, para evitar solicitudes de modificaciones posteriores a la presentación y/o aprobación del EIU, por interferencias no identificadas oportunamente o que no se encontraban bien acotadas.
- Las **expropiaciones y las actividades de reasentamiento** se deben concebir y ejecutar como programas de desarrollo sostenible, que proporcionen recursos de inversión suficientes y oportunos para que las personas desplazadas por el proyecto sean afectadas lo menos posible.
- Es preciso celebrar **consultas ciudadanas** con las personas desplazadas y, si corresponde, darles la oportunidad de participar en la planificación y ejecución de los programas de reasentamiento.
- Los distintos **métodos de construcción y diseño de las estaciones, y sus entornos inmediatos**, no siempre se articulan como áreas que responden a los requerimientos de sus usuarios en superficie, por lo que resulta indispensable que el espacio urbano deba acomodarse a las demandas de movilidad de la manera más funcional posible.

Para efectos de asegurar la integridad del EIU, se recomienda contemplar lo siguiente:

- **Analizar los instrumentos normativos** en materia de planeación que apliquen a la zona, como programas de ordenamiento territorial o directores de desarrollo urbano, según sea el caso, ubicando los usos de suelo circundantes al sitio. Cuando se requiera de alguna modificación, justificarla, apoyándose en planos de usos de suelo y tablas de compatibilidad.
- Realizar **consultas públicas** con los potenciales afectados.
- Efectuar un detallado **control de las variables ambientales** que puedan ser alteradas.
- Diseñar **confinamiento seguro de las áreas de trabajo**, minimizando su extensión.
- **Plan de liberación de interferencias** por redes de servicio.

- Proyecto de **control de seguridad vial.**
- **Plan de acompañamiento a las personas desplazadas**, que demuestre esfuerzo por mejorar sus medios de subsistencia y calidad de vida o, al menos, devolverles en términos reales los niveles que tenían antes de ser trasladados o del comienzo de la ejecución del proyecto.
- **Proyectar mejoramiento de las condiciones de accesibilidad e inserción urbana del proyecto**, combinadas en diferentes modalidades de transporte público, e integradas en redes con el fin de propiciar una apropiación equitativa de sistemas viarios.
- **Considerar infraestructura que promueva el uso de los modos no motorizados** y la peatonalización de las áreas o centros históricos, contribuyendo no sólo con el fortalecimiento de la movilidad urbana sostenible, sino también a realzar el valor de su patrimonio cultural y arquitectónico, haciéndolo mucho más atractivo y accesible para visitantes y turistas.

5.1.2. *Edificaciones existentes y futuras*

Es de vital importancia el conocimiento previo de toda la infraestructura y sus características, tanto existente como futura, a lo largo del trazado definido para el proyecto.

Con relación a las edificaciones existentes, se deberá recopilar los datos de replanteo estructurales, y contemplar métodos constructivos compatibles con el diseño que no afecten a la obra existente. Si esto no se logra asegurar, se tendrá que diseñar un sistema de protección de las fundaciones de edificaciones ya realizadas (recalce o socalzado, entibación, etc.). Además, se tienen que implementar sistemas de monitoreo que permitan detectar tempranamente posibles afectaciones estructurales en las construcciones existentes.

Por otra parte, en cuanto a las instalaciones futuras, se deberá recabar la mayor cantidad de datos posibles respecto a la construcción de instalaciones tanto públicas, como privadas, para lo cual habrá que interactuar con las entidades de desarrollo de la ciudad.

El plan del proyecto debe contemplar y/o formar a un grupo de profesionales que se mantenga conectado e interactuando con los diferentes organismos que registran la documentación existente, y las áreas que gestionan las iniciativas de obras nuevas.

Esta intercomunicación- y que los colaboradores sean los mismos en el trato de los temas- es fundamental para facilitar con confianza y rapidez la localización de la información de las edificaciones e infraestructura de servicios existentes y en diseño.

La información principal a recabar es la siguiente:

- Planos de emplazamiento y detalles de servicios públicos existentes.
- Planos de replanteo de estructura de edificaciones vecinas.
- Planos de emplazamiento y detalles de servicios públicos futuros a compatibilizar con nuevas construcciones del proyecto.
- Previsiones de edificaciones futuras, sobre y en las inmediaciones del proyecto.
- Análisis de las condiciones de suelos para que el descenso no afecte la estabilidad y funcionalidad de las edificaciones existentes.
- Análisis de las interacciones de suelos-estructuras en condiciones sísmicas, en la situación definitiva, y en los sistemas constructivos para asegurar la estabilidad de las edificaciones circundantes con las acciones sísmicas.

El objetivo es determinar los pasos a seguir en la investigación, el diseño de protección de los inmuebles existentes, y el seguimiento de interacción de la nueva obra sobre las cimentaciones construidas.

Las principales actividades y factores a considerar son:

- **Recopilación de datos de edificios existentes:** consiste en recabar todos los antecedentes

estructurales de las construcciones erigidas en la zona a intervenir. Se debe acceder a los entes gubernamentales, que tienen los registros de planos y memorias de cálculo de los edificios de la ciudad. Fundamentalmente, es necesario tener datos de fundaciones, subsuelos y usos de los edificios.

En caso de no tener registros públicos, hay que hacer gestiones ante los dueños de las edificaciones privadas, haciendo hincapié en las ventajas de colaborar en el aporte de la documentación existente para proyectar correctamente las intervenciones con las nuevas obras subterráneas.

- **Posibles sistemas constructivos de protección:** en caso de intervenir cercanamente a edificios, alcantarillas, ríos subterráneos, etc., se debe tener en cuenta la previsión de procedimientos constructivos especiales para poder atravesar la zona, sin afectar las estructuras circundantes.

  Los sistemas de protección son construcciones especiales o adicionales, junto a las estructuras existentes que "forman parte" de la nueva obra.
- **Posibles recalces:** en caso de intervenir bajo estructuras existentes (obras de túneles, pilotes para viaductos, trincheras, etc.) muy cercanamente, como edificios, cañerías de servicios públicos o túneles, es necesario la previsión de procedimientos especiales: el uso del Método Alemán, de ojivas, paraguas, entre otros.

  También, puede ocurrir que deban realizarse construcciones aledañas a la existente y a la nueva que no pertenece a la obra reciente, pero que sean necesarias de erigir para evitar un deterioro de la edificación. Esto puede ser una submuración de la estructura-utilizando micropilotes que se incorporan al edificio-, que no forme parte final de la obra nueva, pero que se construye para evitar su deterioro.
- **Sismos:** en zonas sísmicas, además de tener en cuenta el diseño de la condición definitiva, debe tenerse especial cuidado en la cimentación de obras subterráneas o que afecten significativamente el subsuelo, y considerar las modificaciones que produce la construcción en el conjunto suelo-estructuras.

Los elementos críticos a considerar en el análisis de las edificaciones existentes y futuras son:

- Debido a la afectación a terceros, es fundamental **definir procedimientos constructivos** que aseguren la estabilidad y el no daño a las estructuras existentes, como así también, las potenciales afectaciones a proyectos futuros que se desarrollen sobre la iniciativa (vías en túneles) o en áreas adyacentes a estaciones, talleres u otras obras de relevancia.
- En caso de existir la proximidad de edificios o instalaciones de servicios públicos, es imprescindible analizar si con el paso de las obras son afectados o no. Si del análisis resulta que sí, se tiene que **diseñar los sistemas de protección** para evitar descensos y no provoquen fisuras o roturas no deseadas en las construcciones existentes.
- Cuando el proyecto se desarrolla muy próximo a edificaciones, se debe tener amplio conocimiento de la estructura existente y su uso. Si al hacer los análisis teóricos y, por las experiencias previas, se llega a la conclusión que la estructura es sensible a alguna obra del proyecto, se deben activar los procesos de **diseños especiales para el recalce** que eviten los descensos estructurales actuales.

Para el estudio y consideración de las estructuras existentes y futuras, se recomienda:

- Recopilar la documentación substantiva de las edificaciones ya construidas, en los entes públicos o a los dueños de las propiedades próximas a la futura obra, mediante relevamientos notariales fotográficos antes, durante y al finalizar todo.
- Conocer estructuralmente las construcciones existentes, y dar a conocer el nuevo proyecto a los entes públicos y a los dueños de las edificaciones ya erigidas. Esa interacción genera la confianza y permite proyectar las previsiones necesarias.

- Tener planes de contingencia. El procedimiento final lo deberá diseñar la empresa constructora que conoce los medios adecuados y disponibles para la resolución, y ser detalladamente conocido y aprobado por los entes de control de la obra.
- Prever y realizar procedimientos especiales, informando y haciendo participar a la empresa del servicio a afectar o a los propietarios de las edificaciones actuales.

Figura 5.1

"Relevamiento fotográfico con escribano público en Roosevelt, línea B de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

- Realizar cateos: inspecciones directas de las estructuras actuales bajo tierra y excavaciones, para medir y corroborar que los planos son iguales a la edificación existente. Además, confirmar su ubicación en las tres direcciones (x, y, z) para que las previsiones sean las reales. En lo posible no "suponer" todo, pues debe estar previamente confirmado por la observación directa y documentada.

Figura 5.2

"Recalce de túnel existente de línea D, cruzado por debajo con nueva línea H, de Subterráneos de Buenos Aires (vista en una etapa de pase a hormigonar)"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

5.1.3. *Interferencias con redes de servicios*

Como ya se mencionó, las interferencias son todas aquellas redes de servicios públicos o privados como agua potable, alcantarillado, eléctricas, comunicaciones, canales, etc., que interfieren con las obras del proyecto.

Análogamente al punto anterior, es de vital importancia la detección temprana y precisa de todas las interferencias: las de implementación en la estructura final del proyecto, y aquellas que se relacionan con los requerimientos de superficie tanto de las metodologías constructivas, como de la logística necesaria para la materialización del emprendimiento.

Una vez levantada la información de las redes involucradas, es necesario clasificarlas y coordinar con las empresas y/o propietarios los trabajos de traslado de estas interferencias.

Dependiendo del tipo de interferencia, habrá que coordinar la verificación en terreno de su ubicación exacta, y la elaboración de los proyectos de cambio o traslado de estas redes. Según sea el caso, el proyecto de cambio,

traslado y/o la materialización de la iniciativa estarán a cargo de la empresa involucrada o bien del emprendimiento ferroviario.

De una buena y temprana planificación y priorización de la liberación de las interferencias, dependerá el que estos trabajos no sean parte de la ruta crítica del proyecto. Por lo tanto, es muy importante destinar los recursos necesarios para agilizar los estudios y la tramitación (solicitudes de información a las empresas o privados, aprobaciones requeridas, autorizaciones de trabajos con los organizamos locales, permisos de desvíos de tránsito, etc.) de las obras de cambio o traslado de redes, de manera eficiente y oportuna.

5.1.4. *Posesión de terrenos*

Muchas veces, la toma de posesión de los terrenos necesarios para la materialización de un proyecto en zona urbana se torna más complejo de lo que se pensaba en un principio. Esto se debe a diversos factores que "aparecen" una vez que se da inicio al proceso de expropiación, servidumbre, o reasentamiento (por ejemplo, de una toma de terrenos ilegal), tales como:

- Inexistencia de escrituras pública del terreno.
- División informal del rol de propiedad.
- Sucesión de familiares de dueño fallecido.
- Defensa mediática de terreno a expropiar.
- Asentamiento de grupos familiares en riesgo social.
- Propiedad con muchos dueños (edificios).
- Trámite judicial engorroso (recursos de protección y/o apelaciones judiciales).
- Inscripción de proyecto privado justo antes de declarar terreno afecto a expropiación.

Dado lo anterior, y primero que todo, es muy importante mantener la reserva estricta respecto de los posibles terrenos o propiedades que pueden someterse al proceso expropiatorio. En segundo lugar, se debe contar con profesionales competentes y con experiencia en estos procedimientos, con el fin de que actividades como la identificación de los lotes, o la recopilación de documentación vigente de las propiedades y de sus dueños, sea lo más expedita y precisa posible.

En consecuencia, el proceso de toma de posesión de terrenos debe atenderse desde el inicio de un proyecto ferroviario. La inversión en una gestión oportuna, expedita y eficiente (antes de la tramitación judicial) es ínfima si se compara con las consecuencias de un desarrollo expropiatorio mal hecho, que impida el avance programado y contractual de las obras.

Así, esta etapa puede concretarse mediante alguna de las siguientes situaciones:

- **Expropiación:** es la acción de apropiación legal del terreno por parte del proyecto ferroviario, debido a que las obras de construcción o su implementación definitiva coincide en una parte o en su totalidad con la superficie de la propiedad afectada. Esta acción puede ser: voluntaria, cuando el propietario acepta (o acuerda) la compensación; o forzada, en caso en que el propietario no acepta la compensación y acude a la justicia.
- **Servidumbre:** es la sesión de derecho de uso, de parte de una propiedad que es afectada por la construcción del emprendimiento. Esta servidumbre es, generalmente, voluntaria, basada en algún tipo de compensación que se puede entender como un arriendo perpetuo y que, como condición de acuerdo, evita la expropiación forzada.
- **Permiso de construcción:** esta situación se da generalmente cuando las obras de construcción del proyecto requieren la utilización temporal de parte de una propiedad, la cual debe ser restituida en el momento que corresponda, manteniendo o mejorando las condiciones originales, en base a algún acuerdo compensatorio.

Una priorización dinámica del proceso expropiatorio, en base a los recursos y antecedentes que se vayan conociendo en la etapa de identificación y recopilación de antecedentes de las propiedades involucradas, permitirá que el programa de construcción del proyecto no se vea afectado por la toma de posesión de terrenos, o bien, frente a alguna afectación inevitable que lleve a la reprogramación oportuna de los trabajos.

5.1.5. *Arqueología y Paleontología*

Durante el desarrollo de las obras de un proyecto metroferroviario, siempre está la posibilidad de afectar o involucrar al patrimonio histórico de la ciudad, ya sea conocido o aún no descubierto.

En este sentido, pueden darse diferentes casos:

- En construcciones a nivel o en viaducto:
  - Utilización de edificios históricos para su rehabilitación como estación.
  - Utilización de parte de edificios patrimoniales para la implementación de parte de la estación.
  - Demolición de edificaciones antiguas.
  - Traslado de obras de interés o transformación de las mismas a otros espacios.
  - Desplazamiento temporal de zonas, restos, edificaciones, etc., de relevancia.
- En construcciones subterráneas:
  - Fundaciones de edificios históricos conocidos a nivel superficial.
  - Restos arqueológicos.
  - Restos paleontológicos.

En efecto, la construcción de la infraestructura de este tipo de emprendimientos puede afectar a elementos patrimoniales, hasta tal punto de inviabilizar soluciones en superficie o “normales” bajo rasante, debiendo recurrir a otro tipo de respuestas y, en ocasiones, de mayor profundidad con un consiguiente aumento del costo económico.

Así, ciudades como Roma, por ejemplo, tienen gran dificultad para poner en marcha una infraestructura de estas características, ya que la construcción de ésta puede verse afectada de forma significativa.

En cualquier caso, dependerá de la historia del país o región correspondiente dónde habrá que tener presente la Prehistoria, Antigüedad, Edad Media, Modernidad, etc., para valorar el posible impacto que se pueda tener a la hora de construir la infraestructura proyectada.

Las potenciales afectaciones a elementos patrimoniales son factores críticos, razón por la cual se recomienda su incorporación en las fases tempranas de planificación. Se requiere de la elaboración de mapas de patrimonio, considerando:

- Estudios prehistóricos paleontológicos: niveles estratigráficos, tipología de restos, nivel de riqueza o densidad, importancia, etc.
- Estudios prehistóricos arqueológicos: tipo de civilización, asentamientos, etc.
- Mapas históricos: historia antigua y evolución de la zona, niveles, procesos de construcción y destrucción (guerras, soterramientos, etc.).
- Edificaciones o construcciones existentes: niveles de protección, niveles de posible utilización, posibles modificaciones (identificación de las mismas, dificultad, tiempos, etc.).

Las recomendaciones parten por obtener los mapas y estudios previos, ya que no sólo es una cuestión que pueda impactar sobre infraestructuras ferroviarias metropolitanas, sino también en cualquier otro tipo de proyectos, como son la construcción de sistemas generales de alcantarillado, infraestructuras viales, túneles, grandes galerías, etc. Se debe considerar al menos lo siguiente:

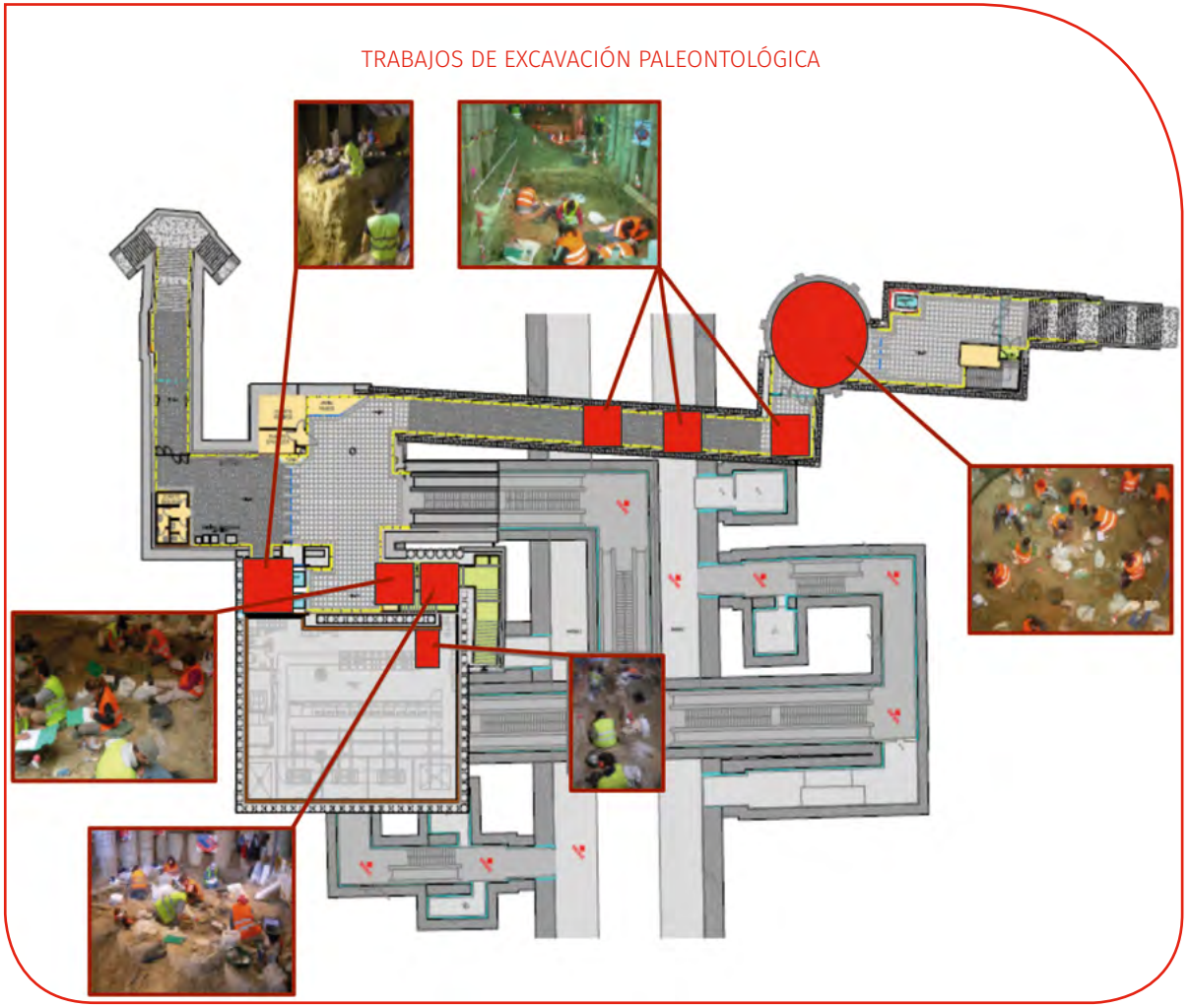
- Determinar la entidad del Estado competente con relación a los hallazgos y el tipo y plazo de tramitaciones que se requerirán.
- Obtener y/o generar mapas temáticos prehistóricos e históricos, niveles estratigráficos, clasificación de la importancia de las zonas, etc.
- Analizar la evolución histórica de la zona de actuación.
- Tener clara la legislación y marco normativo para el tratamiento de los restos, y la manera de enfocar los mismos.
- Definir niveles de protección de las edificaciones y construcciones históricas; la oportunidad o no de aprovechamiento de la infraestructura; la identificación de posibles coexistencias entre los restos y la red; etc.
- Considerar el impacto temporal y económico sobre la ejecución de los trabajos, sobre todo el primero de ellos, ya que la forma en la que influyen sobre los procesos de construcción y sobre la velocidad de construcción en sí misma, son de alto impacto.
- Generar grados de colaboración con administraciones, patrimonio, entidades públicas o privadas que se encargan de la gestión, custodia, mantenimiento y estudio de los restos.

- Determinar el destino futuro de restos y hallazgos: almacenaje, redacción de informes, propiedad, etc. Realizar seguimiento minucioso y documental desde el inicio, hasta bien pasada la finalización de las obras, ya que el análisis posterior de los restos suele llevar bastante tiempo.
- Definir los posibles destinos de los restos encontrados: su tratamiento, exposición (puesta en valor), etc., y analizar procedimientos correspondientes.
- Identificar posibles impactos derivados de la localización de distintos hallazgos, así como las decisiones que se concluyan de los mismos, y realizar análisis FODA u otros. Dichos impactos derivarán directamente sobre cuestiones actuales y futuras, tales como:
  - Aumento económico sobre el costo inicial.
  - Alto impacto sobre el tiempo de ejecución de los trabajos.
  - Cuestiones sociales sobre museos, edificios emblemáticos, patrimoniales, históricos, etc.
  - Impacto mediático.
- Reutilización y restauración de espacios y edificios antiguos o de valor histórico.

La actividad más común en esta temática es la realización de prospecciones y ensayos, a la vez que una decisión importante- según la relevancia del entorno arqueológico y paleontológico- será el carácter y forma de gestión del tema, ya sea mediante la participación de especialistas externos o la creación de un departamento propio.

Figura 5.3

"Hallazgos paleontológicos en Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.4

"Restos arqueológicos en Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.5

"Puesta en valor patrimonial en estación Corrientes de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

En cualquier caso, hay que tener también presente que el modo de construcción de la infraestructura impacta de forma directa sobre la posibilidad de extracción, o no, de los restos que puedan encontrarse, debiendo existir valoraciones de carácter previo que determinen cómo, de qué forma, en qué manera, etc., hay que tratarlos: si éstos deben trasladarse; formar parte de la propia infraestructura, condicionando en cierta medida la distribución de espacios; o si se tiene o no que crear un espacio de puesta en valor.

Figura 5.6

"Restauración de edificio histórico en Estación de Príncipe Pio, del Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

5.1.5.1. ***Prospecciones y ensayos***

En algunas ocasiones, si no se dispone de datos previos o son poco contrastados o consolidados, los trabajos geotécnicos de inspección pueden resultar válidos para identificar la presencia de restos de distinta tipología.

En función de la legislación de cada país o región, existen (o deberían existir) distintos procedimientos para garantizar que, de alguna manera, se está teniendo en cuenta la posible presencia de restos, de tal forma que no se realicen expolios innecesarios.

Figura 5.7

"Proceso de extracción durante la excavación en estación Ópera de línea 3 del Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

El marco normativo, así como la legislación vigente, debe dar suficiente cobertura y garantías para que el proceso se realice de forma adecuada, forzando a la propia administración o empresa a tomar las medidas correspondientes, con el consiguiente paso de comprobación y seguimiento de los trabajos que se estén realizando.

Así mismo, la regulación debe permitir seguir el proceso desde sus orígenes hasta el final del mismo, con los correspondientes ensayos, pruebas, informes, etc., proceso que suele dilatarse bastante en el tiempo.

Los principales factores a tener en cuenta son:

- Disponer de la información previa es esencial para tomar las decisiones que probablemente haya que poner sobre la mesa, así como el impacto de este tipo de trabajos sobre la construcción ferroviaria.
- En muchas ocasiones, no existe un órgano decisor claro, ya que sobre estas cuestiones existen grupos de presión, además del impacto social que tienen, por lo que- en última instancia- deberá ser el consejo de administración de la empresa el que tome las decisiones al respecto, con los informes que correspondan y las variantes a analizar.

Finalmente, se recomienda:

- Estudiar conjuntamente, con los análisis geológicos- geotécnicos, la posible presencia de restos.
- Preparación en obra de zona de tratamiento de restos, desde su aparición en sondeos, hasta su proceso tras la extracción conjunta durante el periodo de excavación general de la obra.
- Análisis de restos fósiles de polen, pequeña cerámica, pequeños restos óseos, etc.

5.1.5.2. ***Especialistas externos o departamento propio***

Parece lógico que, en lugares con gran cantidad de hallazgos en esta materia y donde el terreno sea susceptible de su aparición, sea conveniente tener un departamento de especialistas que se encarguen de este tipo de trabajos, no sólo para la extracción o identificación de los mismos, sino también para el cuidado de éstos, su mantenimiento futuro, e incluso su explotación (en museos, por ejemplo).

Es el caso claro de infraestructuras de metros como el de Roma o Atenas, donde existe una alta probabilidad de- al realizar este tipo de trabajo- encontrarse y toparse con restos arqueológicos.

En situaciones intermedias, donde no exista la certeza o los mapas de estudios tengan identificadas sólo algunas zonas claras de restos, conviene contar con la intervención de especialistas externos que se encarguen de su control, considerando que estos procedimientos pueden dilatarse y afectar el cronograma de construcción del proyecto.

Figura 5.8

"Excavaciones cerca de la estación Zócalo, de Metro de Ciudad de México"



Fuente: ALAMYS.

Se debe considerar que los hallazgos de este tipo requieren siempre de la presencia de profesionales especialistas por parte de la autoridad que resguarda el patrimonio histórico y cultural, que permitan determinar el valor histórico y, en función de la normativa de cada país, diseñar y ejecutar las medidas de protección o de gestión necesarias: documentación, rescate arqueológico, puesta en valor, etc.

Además, se debe tener presente que la valorización de los hallazgos no depende necesariamente de "lo económico". Por ejemplo, un elemento prehispánico decorativo de metal precioso puede tener menos valor que una cerámica que dé cuenta del poblamiento prehistórico hasta ahora no documentado.

En este sentido, es claro que si el proyecto se va a desarrollar en zonas potencialmente contenedoras de restos de esta tipología, se debe tener presente que un departamento propio sería lo más conveniente, ya no sólo para la gestión actual, sino también para el mantenimiento futuro. Sin embargo, en cualquier caso, se deberán establecer procedimientos previos para la gestión de los probables hallazgos.



5.2. Ingenierías del proyecto en la etapa de construcción

Para la fase de Construcción se requiere de una definición de detalle tanto de la obra, como de la metodología constructiva a utilizar, denominada Ingeniería de Detalle, cuya principal entrada es la Ingeniería Básica. Ésta- que define las funcionalidades principales y los requerimientos de usuario, además del programa y presupuesto generales- a su vez necesita para su desarrollo el resultado de la Ingeniería Conceptual, encargada de determinar la viabilidad técnica y económica del emprendimiento, aspectos decidores para la aprobación del mismo.

En la medida que se vayan entregando las obras terminadas, o una vez finalizadas completamente (dependiendo de la estrategia del Modelo de Negocio y de las condiciones contractuales), el contratista debe encargarse de conceder formalmente toda la información de ingeniería correspondiente a lo efectivamente ejecutado, como los planos *as-built*. Esta acción se conoce como Ingeniería Final o Ingeniería Conforme a Obra.

5.2.1. Ingeniería Básica

El proceso de Ingeniería Básica consiste en "validar" la ingeniería conceptual del proyecto que permitió su aprobación. Le corresponde el conjunto de documentos de ingeniería que define la obra. Los principales entregables son:

- Validación del proyecto desde su concepción y funcionalidad.
- Definición de los aspectos funcionales.
- Definición de la arquitectura básica.
- Definición de requerimientos operacionales.
- Diseños definitivos, incluidos los cálculos de todas las especialidades.
- Procedimientos constructivos y equipos a utilizar en la construcción.
- Cronogramas de trabajo con la definición de recursos principales.
- Sistemas de control.

La ingeniería de proyecto básico debe ser desarrollada por un equipo de profesionales multidisciplinario, que cuente con especialistas en obras o sistemas relacionados con el emprendimiento; o, mejor aún, con experiencia en otros proyectos integrales de similares características. Cabe señalar que, dependiendo del Modelo de Negocio definido, en el cual se decide la estrategia de licitación, la Ingeniería Básica puede ser desarrollada tanto por el dueño, como por un tercero, o bien por el mismo constructor.

En particular, para una iniciativa metroferroviaria, la Ingeniería Básica de obras civiles y la de los sistemas de equipamientos están vinculados tempranamente por el sistema de vías (o "la vía"), ya que el elemento de rodado debe quedar perfectamente implantado y consolidado con la obra gruesa civil. Esta particularidad, que es desenvuelta por terceros, motiva muchas veces a integrar todas las especialidades en una única etapa, y no en una Ingeniería Básica Civil y otra de Sistemas.

Asumiendo lo anterior, en este nivel se completan o complementan los estudios de suelos, la altimetría compatible con el trazado de vías, el sistema constructivo de acuerdo con el suelo, la tecnología a utilizar, los suministros y equipos, etc. A partir de las definiciones anteriores, la Ingeniería Básica desarrolla la arquitectura de toda la infraestructura a nivel elemental, y precisa el trazado donde se debe implantar la obra civil y la vía, independiente de que sea subterráneo, a nivel o en viaducto.

Además, aquí se valida y define con mayor precisión todas las singularidades del proyecto en su desarrollo, tanto funcionales como estructurales, tales como: encuentro de estaciones subterráneas y de túneles, cruces especiales, posibles afectaciones a infraestructura edificada o futura, identificación de interferencias que afectan la obra o que son aquejadas temporalmente por el desarrollo de los

trabajos, propiedades expuestas a expropiación o servidumbre, etc.

En resumen, en lo que respecta a la construcción civil, es imprescindible realizar una Ingeniería Básica, para estudiar y definir con mayor detalle:

- Cada elemento estructural, de acuerdo con la metodología constructiva disponible.
- Cada parte, y con qué metodología se edificará.
- Definir una metodología constructiva lo más típica posible.
- Definir los puntos atípicos que requerirán técnicas especiales, y adaptarlos a las tecnologías disponibles por la empresa constructora.

En cuanto a los equipos y sistemas, la Ingeniería Básica define los requisitos generales del Material Rodante, sistema de vías, sistema eléctrico, sistema de señalización y comando centralizado, sistemas de comunicaciones (radiocomunicaciones, telecomunicaciones, CCTV, control de accesos, etc.), sistemas electromecánicos (ascensores, escaleras mecánicas, sistemas de bombeo, etc.), sistema de peajes, de sistema de información a pasajeros, etc.

Todos estos elementos, en cuanto a sus funcionalidades e interacciones, deben ser compatibles y suficientes (mínimos) para cumplir con el Modelo Operacional definido inicialmente para el proyecto. Además, se debe incluir el nivel de seguridad de la operación y sus principales requerimientos, como el Grado de Automatización (GoA#), confiabilidad, y seguridad.

La Ingeniería Básica planteará un diseño y metodología típicos para la mayor parte de la obra, e identificará y definirá la metodología particular para los puntos especiales donde se requerirán otros procedimientos y tecnologías para construir esos sectores.

Con todo, es fundamental convenir una identificación única de la documentación. A modo de ejemplo, las revisiones suelen designarse de la siguiente manera:

- Para aprobación: revisión 0A, 0B, 0C, etc.
- Para construir: 00 (con esto en obra, es recomendable que sólo deba haber revisión numeral).
- Modificaciones de detalles menores por dificultades en obra: revisión 01, 02, 03, etc.
- Conforme a obra: revisión CO.

En algunos proyectos- dependiendo del Modelo de Negocio-, la Ingeniería Básica y de Detalles pueden ser: a) realizadas por la misma empresa, b) por empresas distintas, c) por el mismo constructor (como en los proyectos “llave en mano”). Si bien, el que una misma entidad realice ambos procesos puede significar menores costos y/o plazos, esta modalidad representa un riesgo no menor por su complejidad y la expertis que se debe tener para cada paso. Cualquiera sea el caso, generalmente se recomienda el apoyo de consultoras externas para que aporten su experiencia; esto es muy valorado, ya que se genera una transferencia de conocimientos que se complementa con el estricto control técnico y económico del ente público de transporte que está detrás del proyecto.

Los principales entregables de esta etapa son (a nivel de Ingeniería Básica):

- Planos de validación de licitación.
- Documentos de requerimientos funcionales y operacionales de los distintos sistemas y equipos.
- Planimetría y/o altimetría, con los mantos de suelos.
- Planos de ubicación.
- Planos generales.
- Memorias de cálculo de todas las especialidades.
- Planimetría de vías.
- Planos de arquitectura de estaciones.
- Planos de encofrados de túnel, estaciones y cruces especiales con dimensiones a ejecutar.
- Planos de generales de procedimientos constructivos.
- Planos de armaduras donde éstas estén definidas.
- Planos de interferencias definitivas.
- Planos básicos de instalaciones potencia.

- Planos de instalaciones eléctricas.
- Planos de instalaciones sanitarias.
- Planos de ventilación.
- Planos de drenajes con pozos de bombeo.
- Planos de escurrimiento internos, con pozos de bombeos.
- Planillas de materiales.
- Plan maestro de ejecución.
- Estimación de presupuesto detallado.

En algunas ocasiones, la documentación necesaria para la aprobación medioambiental del proyecto (como el Estudio de Impacto Urbano, EUI), también es responsabilidad de la Ingeniería Básica. En otras, esta registro puede encargarse a una empresa independiente. No obstante, gran parte de la información de base de este estudio proviene de la Ingeniería Básica.

5.2.2. *Ingeniería de Detalle*

Una vez definida la obra a construir, y los requerimientos funcionales y operacionales de los sistemas y equipos involucrados en la Ingeniería Básica, se debe desarrollar la Ingeniería de Detalle. Ésta, además de validar lo desarrollado en la etapa previa respetando sus definiciones, debe generar todo el protocolo necesario y suficiente para materializar físicamente el proyecto; es decir, para que la iniciativa quede en condiciones de operación.

Es en esta fase en la que se debe identificar cualquier incompatibilidad del proyecto de Ingeniería Básica, y redefinir lo que sea necesario.

5.2.2.1. *Ingeniería de Detalle de Obras Civiles*

En lo que respecta a la construcción, la Ingeniería de Detalle es responsable de calcular y documentar todas las obras involucradas, y- para cada una de ellas- debe emitir los planos necesarios con el fin de construirlas de manera correcta y eficiente, considerando metodologías, materiales y equipos que fueron definidos en la Ingeniería Básica. Esto supone la entrega de lo siguiente:

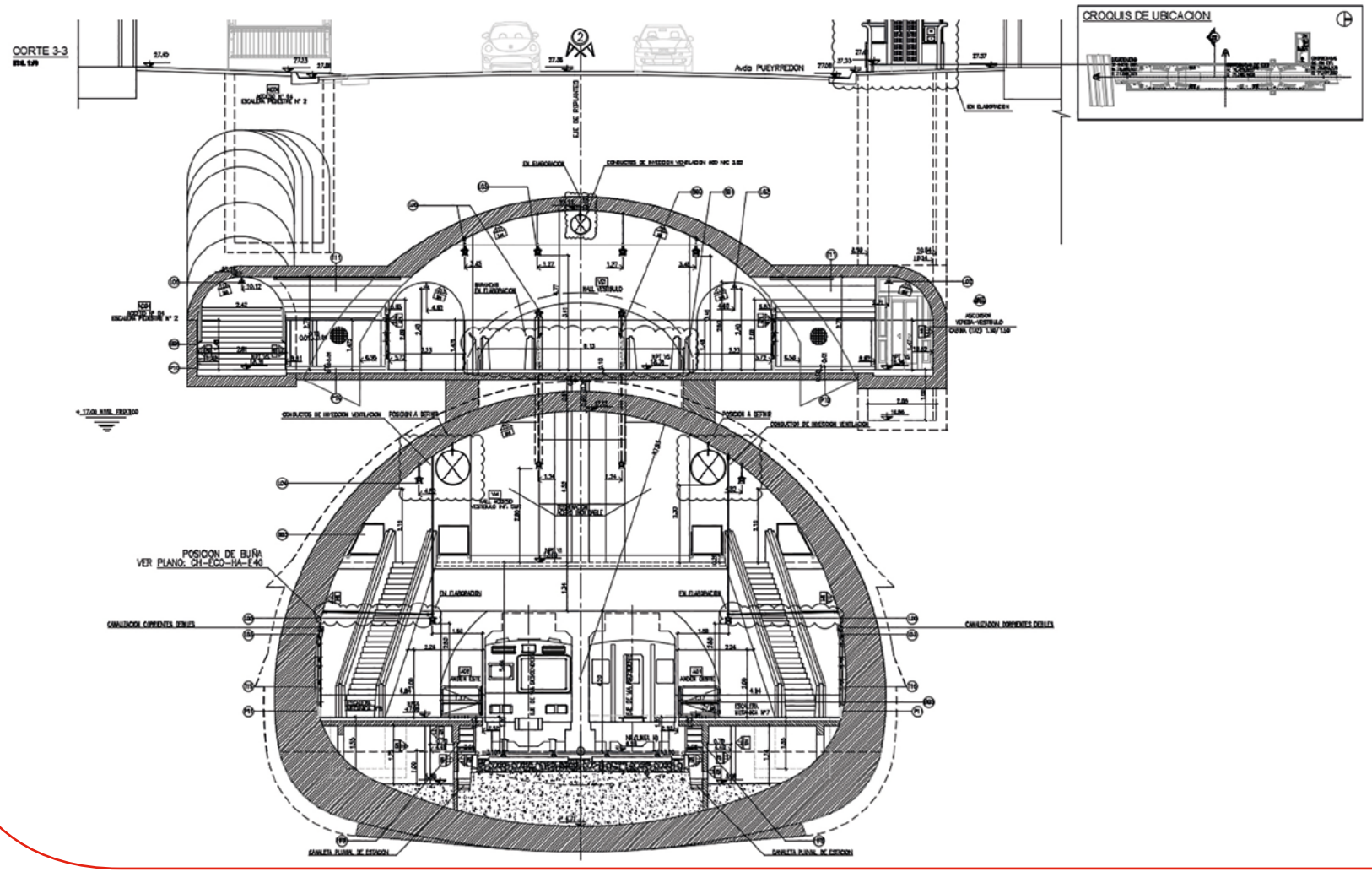
- Planos de levantamiento topográficos y replanteos y sus datos geo-referenciales.
- Planos generales de detalle y sus vistas, cortes y secciones típicas.
- Planos generales de detalle y sus vistas, cortes y secciones atípicas.
- Planos de detalle de secuencia constructiva.
- Planos de detalle de montajes.
- Planos de detalle fabricación de estructuras.
- Planos de detalle de arquitectura y paisajismo.
- Listado de materiales y equipos.
- Especificaciones técnicas generales y especiales.
- Memorias de cálculo.
- Descripción de secuencias constructivas.

La Ingeniería de Detalle de obras civiles debe elaborar el cronograma de actividades (Carta Gantt) detallado. Este programa es un referente fundamental para que, en definitiva, sea el constructor quien lo ajuste a los plazos y presupuestos conforme a su propuesta y que, en definitiva, será el que regirá el contrato.

A su vez, en este paso se debe elaborar toda la valorización detallada de la obra justificando cada partida del cronograma, además de aquellos costos que no sean parte de la calendarización, pero necesarios para la ejecución de los trabajos (como, por ejemplo, costos de laboratorio, ensayos, prevención de riesgos, gestión ambiental, informes, etc.), con un análisis de precios específico que incluya materiales, equipos, maquinaria, suministro energético, y mano de obra común y especializada.

Figura 5.9

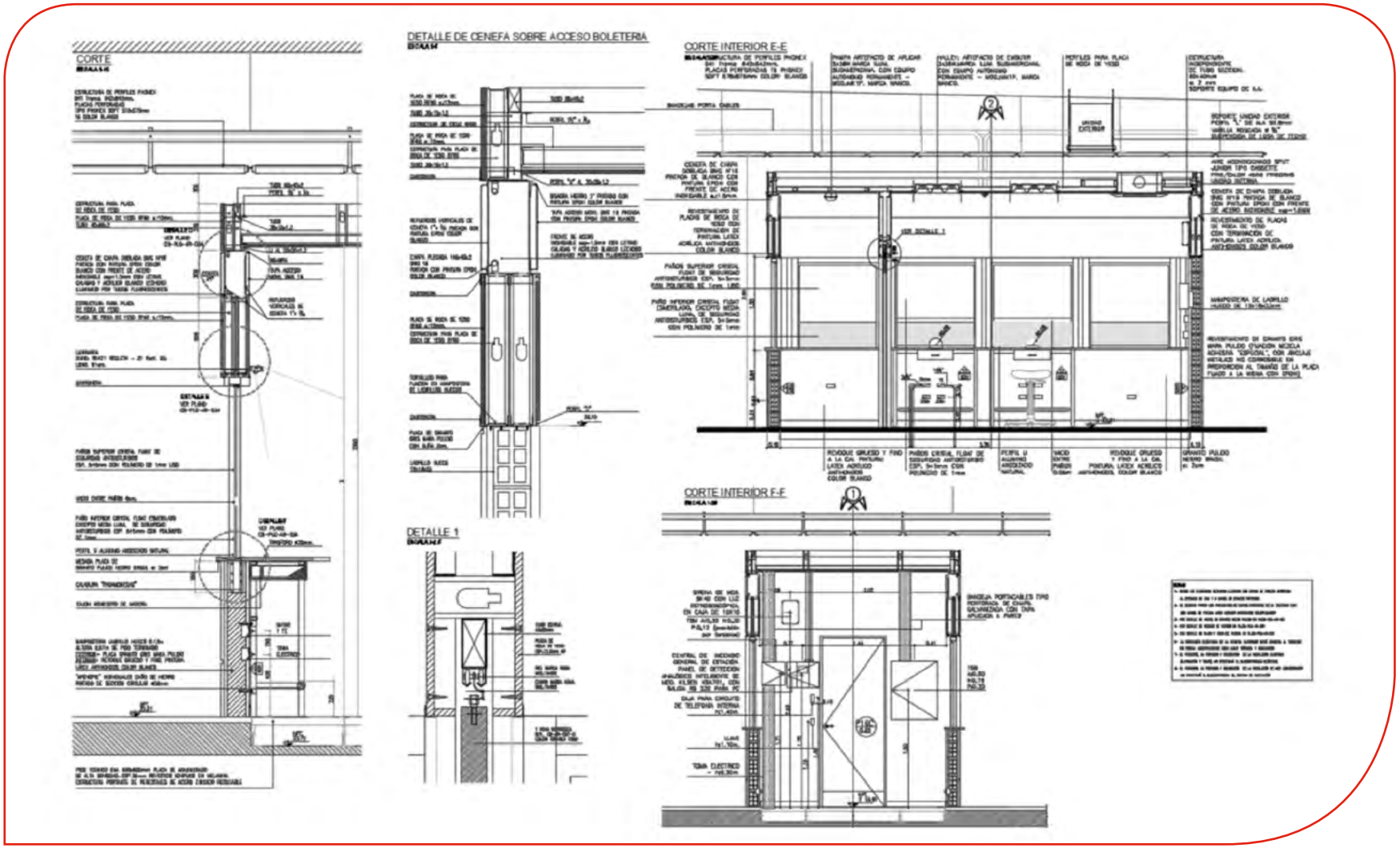
"Planos de arquitectura, cortes, plantas y detalles del corte de estación de Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.10

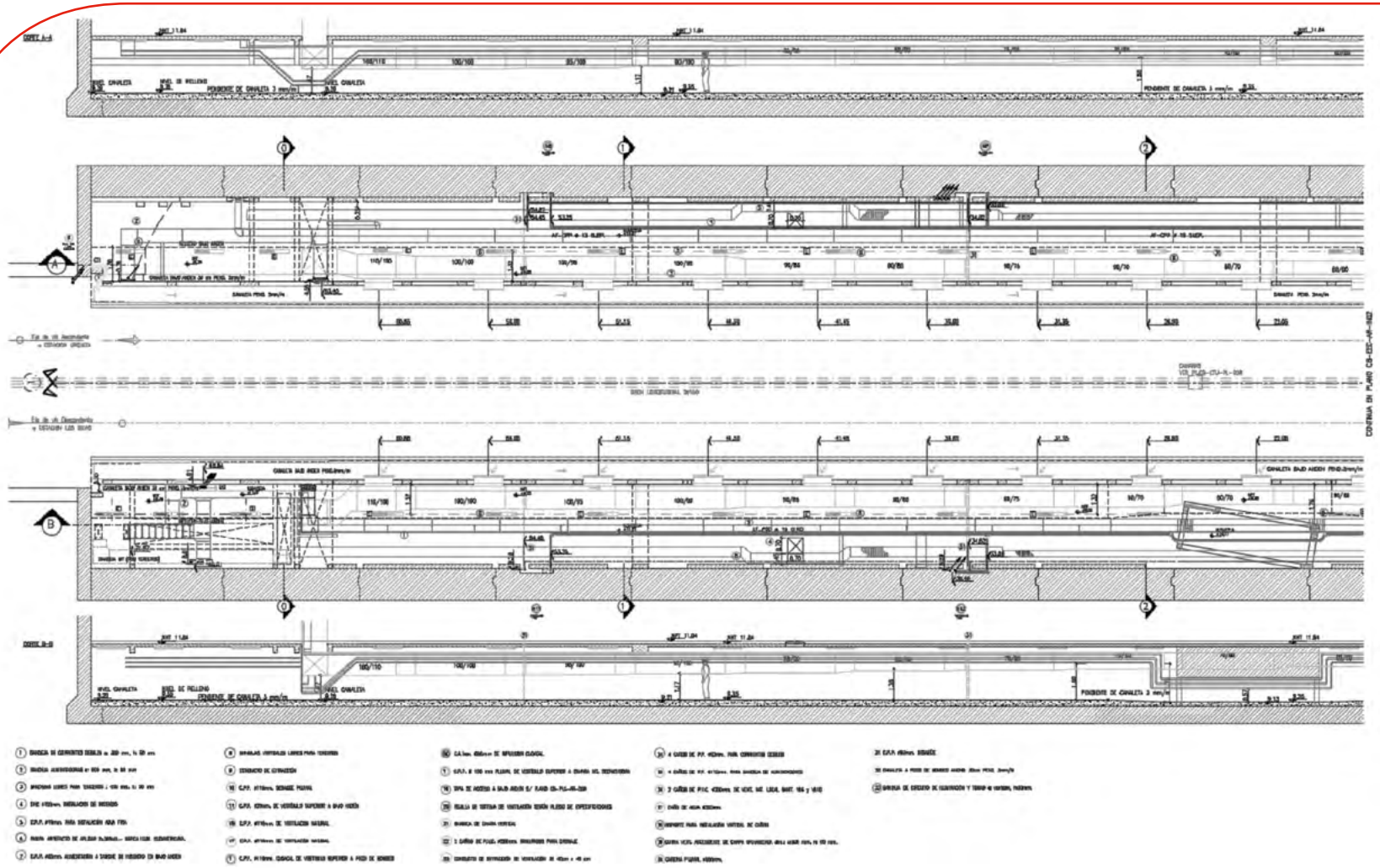
"Detalles varios de arquitectura en Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.11

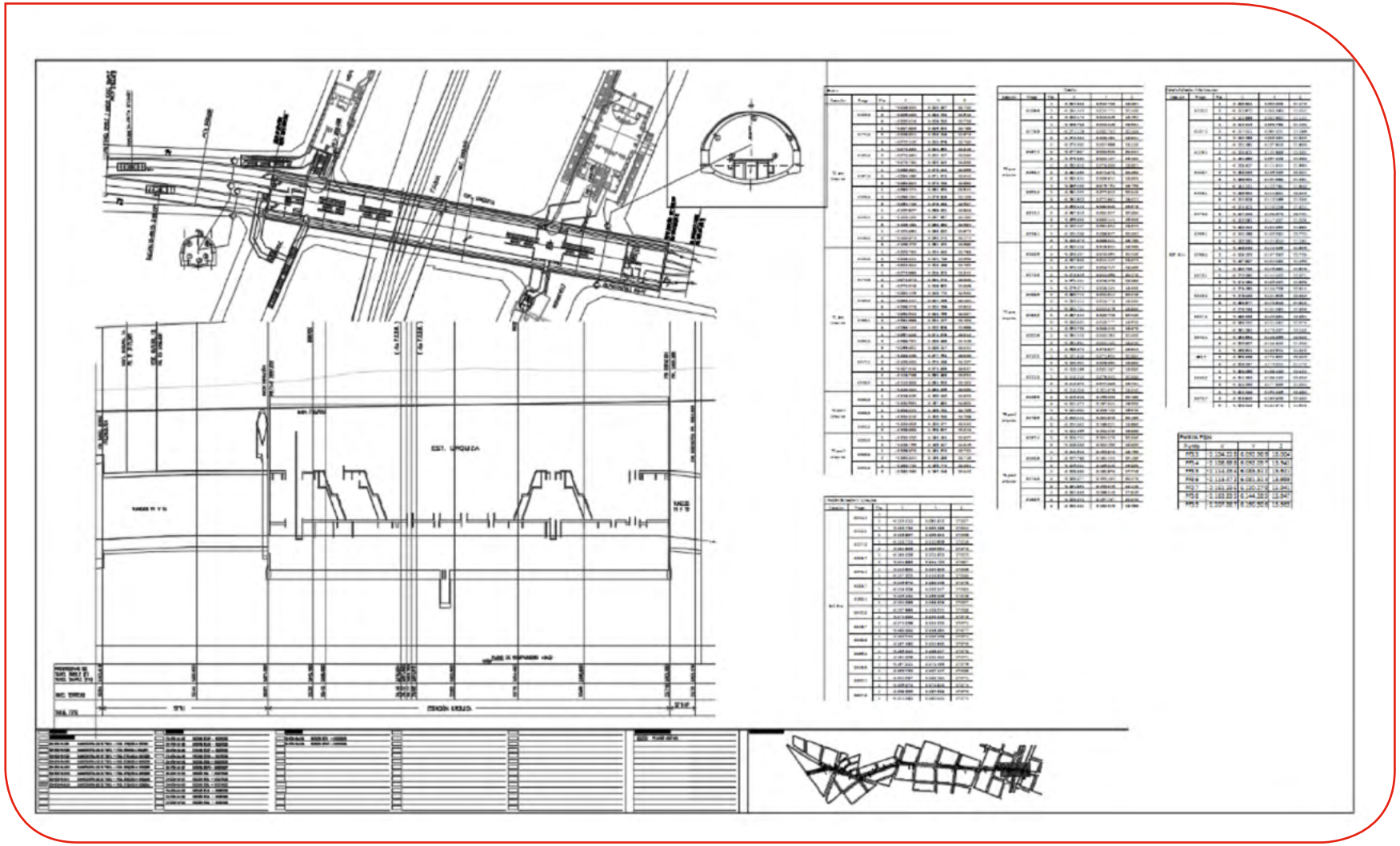
"Detalles de andén en Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.12

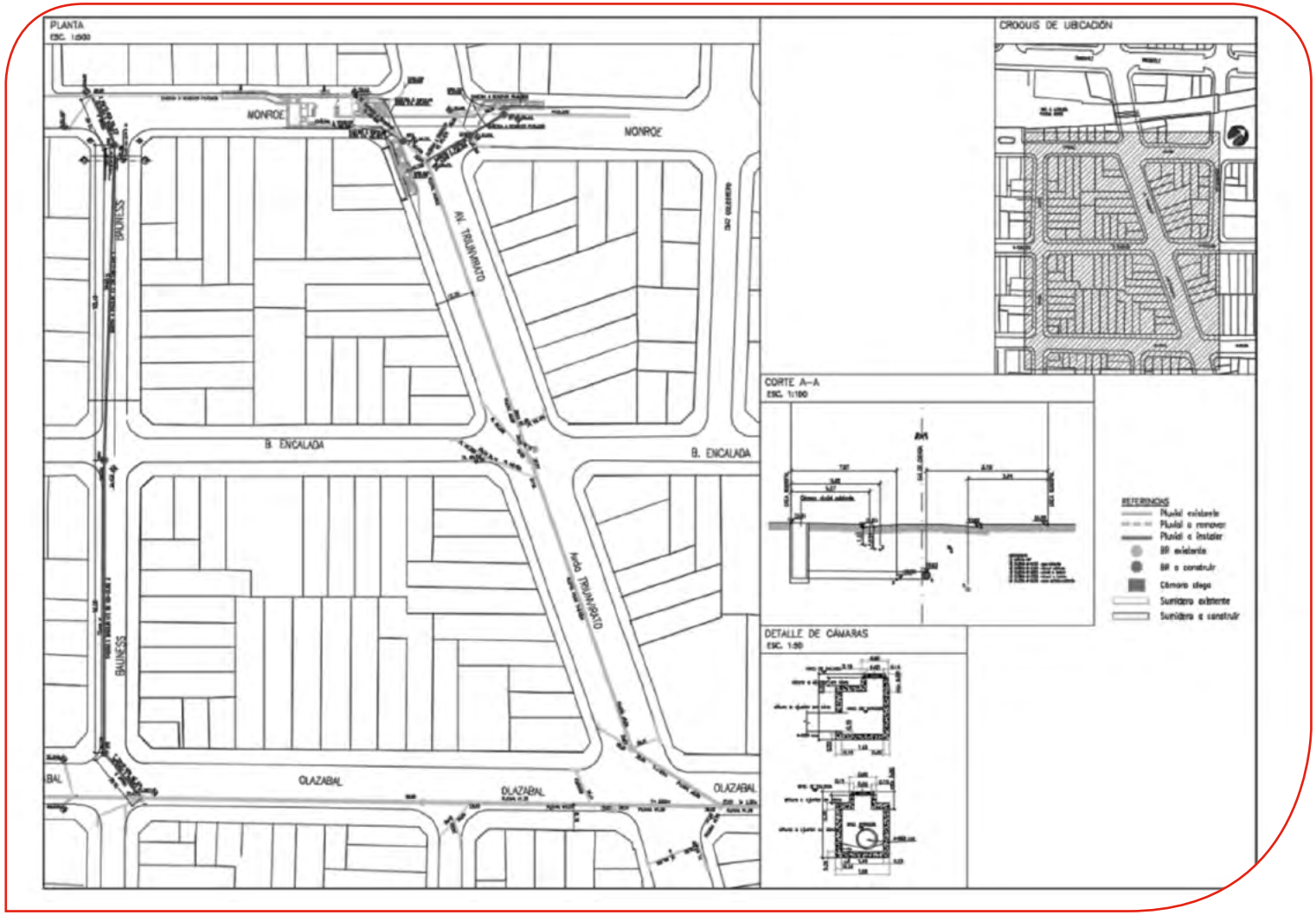
"Planos de coordenadas en Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.13

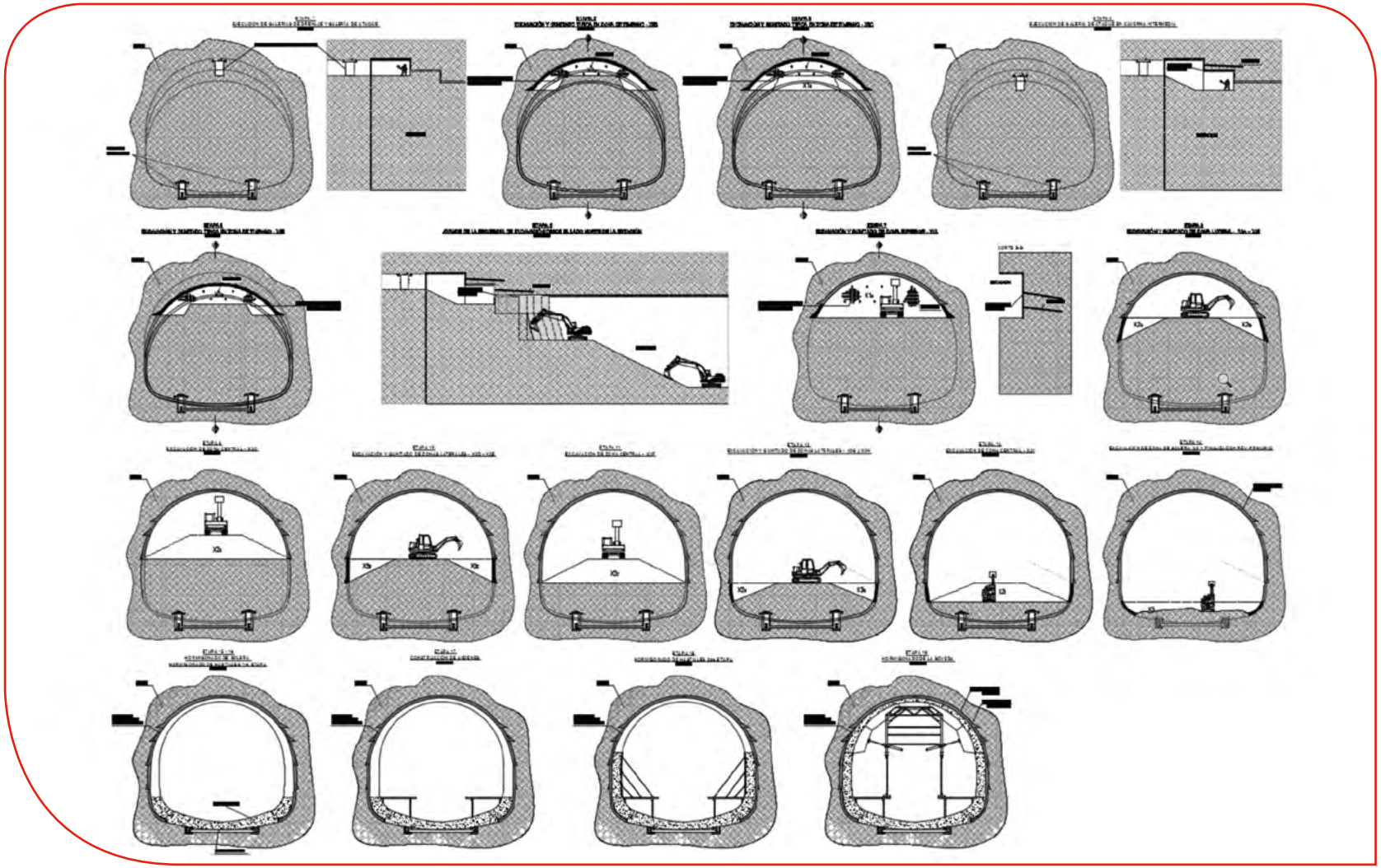
"Remociones en Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.14

"Procedimientos constructivos de estación con detalles específicos de excavación, y sostenimiento primario y secundario en Línea F de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

5.2.2.2. *Ingeniería de Detalle de Sistemas*

En cuanto a los sistemas y equipos, cabe señalar que es lógico que sea el propio fabricante de cada elemento quien desarrolle su propia Ingeniería de Detalle, respetando y teniendo como *input*- obviamente- lo definido en la Ingeniería Básica tanto de obras civiles, como de sistemas y equipos. Algunos de los entregables en esta materia, son los siguientes:

- Planos de detalle de diseño.
- Planos de detalle de fabricación.
- Planos de detalle de montaje.
- Planos de detalle de secuencia de montaje.
- Planos de detalle de sistemas de control.
- Listado de materiales y equipos.
- Especificaciones técnicas generales y especiales.
- Especificaciones técnicas de operación.
- Especificaciones técnicas mantenimiento.
- Memorias de cálculo.
- Descripción de secuencias de montaje.
- Listado detallado de interfaces con obras civiles.
- Listado detallado de interfaces con otros sistemas.
- Descripción de procedimientos y planos para el transporte.

Cuando es el propio fabricante de cada sistema el responsable de su Ingeniería de Detalle (como es habitual), éste no necesariamente proporciona el presupuesto detallado de su sistema, debido principalmente a que su costo está valorizado en el precio de la oferta integral como fabricante, asumiendo el riesgo de la precisión de su estimación.

No obstante, muchas veces es recomendable exigir una valorización consistente (en términos de costo) de sus principales componentes, partes, piezas, materiales y recursos que requiere la elaboración del suministro, el montaje y las pruebas, para objetivar cualquier discrepancia contractual o requerimiento futuro, por parte del dueño del proyecto, de estos elementos.

Independiente de la especialidad, la Ingeniería de Detalle de cada sistema debe elaborar el cronograma de actividades detallado, tomando como referencia el programa maestro definido en la Ingeniería Básica. La consistencia, coherencia y oportunidad en ello son importantísimas, ya que del "calce" de estos dos programas de especialidades se levantarán todas las interferencias entre los sistemas, y entre éstos y la obra civil.

5.2.3. *Ingeniería Conforme a Obra*

Una vez construida y completada la obra, cada empresa que participó en la materialización del proyecto debe entregar al mandante todos los planos y manuales de ingeniería conforme a lo efectivamente edificado, fabricado o montado, ya se trate de infraestructura, funcionalidades o equipos y suministros, con una justificación de los cambios realizados en el camino cuando éstos sean significativos de reportar.

Para el propietario y el operador es imprescindible disponer de la documentación definitiva para el mantenimiento, y de los datos necesarios para el proyecto y construcción de cualquier iniciativa futura interna o de otros entes públicos y/o privados.

La mayoría de este tipo de obra es "enterrada". En consecuencia, cualquier verificación posterior de lo ya realizado, es una tarea muchas veces complicada y costosa, por lo que la última acción de la empresa constructora corresponde a la entrega de esta documentación.

Debe incluirse una cláusula en el pliego donde se asegure la recepción de este registro. Por ejemplo, indicando explícitamente que "faltando alguna parte de la documentación final de obra, ésta no se recepcionará".

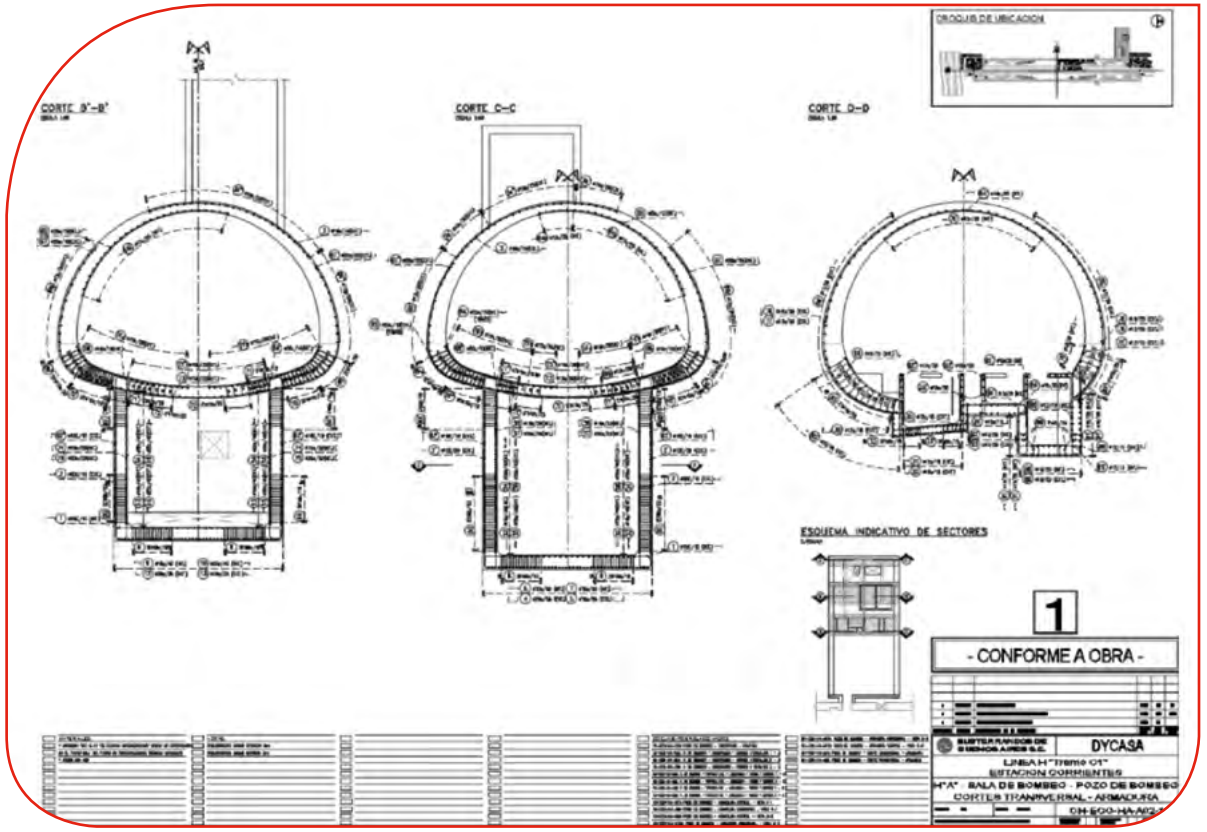
La dirección del proyecto debe ir controlando que esta información se mantenga actualizada y completa hasta la entrega final. Este es un proceso largo, tedioso y debe ser realizado por los actores directos de la obra, no se debe postergar o transferir a personas externas y/o ajenas a la realización del proyecto.

La correcta ejecución de esta Ingeniería Conforme a Obra, permitirá que futuras intervenciones en ella o en su entorno no afecten la infraestructura construida o, en su defecto, que éstas sean abordadas de manera controlada y previamente planificadas.

En este sentido, la Ingeniería Conforme a Obra también permite que la planificación de futuras intervenciones no se vea impactada por afectaciones "accidentales" sobre infraestructura existente que "no aparecía en los planos", ya que su configuración y ubicación son conocidas con exactitud antes de la intervención física.

Figura 5.15

"Ingeniería Conforme a Obra en estación Corrientes de la Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

5.3. Planificación de la ejecución del proyecto

La planificación de la ejecución de proyectos metroferroviarios constituye uno de los pilares de su gestión, debido a que permite definir e integrar todas las actividades que forman parte de él. Asimismo, proporciona las herramientas necesarias para el seguimiento de los plazos, costos, y de los entregables.

Su objetivo es proporcionar un marco de trabajo que permita hacer estimaciones razonables de recursos, costos y tiempos de implementación. Si bien, esta planificación se realiza dentro de un tiempo limitado al comienzo de un proyecto, su actualización debe ser periódica en la medida que progresa la ejecución, y en que ocurran impactos que no se pueden mitigar o eliminar. En este sentido, nunca debe descuidarse la planificación, ya que es el elemento fundamental sobre el cual se medirá el desempeño del emprendimiento y, en consecuencia, de los responsables de su ejecución.

Independientemente de la estrategia contractual que se defina para abordar un proyecto ferroviario (y en general de un megaproyecto), ya sea implícita o explícitamente, la planificación de ejecución definirá en último término dos tipos de programas:

a) Uno relativamente estático que, en general, responde a los compromisos de alto nivel de los responsables (deberes muchas veces de origen político), con un nivel de desagregación no tan detallado, al que- para efectos del presente capítulo- llamaremos Programa Maestro.

b) Otro medianamente dinámico que, siendo inicialmente consistente con el Programa Maestro, corresponde a los compromisos contractuales que denominaremos Programación Contractual. Así, y aun cuando sabemos que todos los proyectos son mutables, irrepetibles y- de alguna manera- impredecibles (siempre hay riesgos), una óptima gestión radica en que independientemente de las variaciones del Programa Contractual, se cumpla el Programa Maestro.

Así, en la programación de un proyecto se definen hitos que cumplir. Éstos son objetivos, eventos o logros de duración cero, particulares e importantes. Generalmente, un hito separa lógicamente algún proceso o etapa, de otra. Además, la ocurrencia de ellos transmite, de cierta forma, el estado de avance de la obra (lo que no debe confundirse con su desempeño o cumplimiento).

Es usual y recomendable que los Programas Maestro y Contractual contemplen hitos. En términos de plazo, algunos serán esencialmente políticos, como: "Inicio de la construcción del proyecto", "Colocación de primera piedra" o "Primera palada". Otros, en cambio, serán contractuales: "Término de obras civiles de túnel interestación". También, están los mediáticos: "Restitución de vialidad y tránsito en calle pública". Finalmente, existen los hitos técnicos: "Energización para tracción", por ejemplo.

Como puede notarse, sólo el párrafo anterior especifica una variable de gestión (tiempos determinados) para los Programas Maestro y Contractual. Éstas corresponden a la triple restricción de todo proyecto: plazo, costo y desempeño (alcance y calidad). Esta indiferencia se debe a que cada una de estas limitaciones debe contar con su propio programa.

Consecuentemente con lo anterior, la variable "plazo" debe tener asociado ambos tipos de programa (Maestro y Contractual) de ejecución de los tiempos planificados. Lo mismo para los "costos". La variable "desempeño" tiene que regirse por

planes que permitan cumplir el alcance y la calidad. Estos dos últimos aspectos, si bien son transferidos al contratista que ejecuta las obras en el ámbito de la gestión del proyecto, son responsabilidad del equipo a cargo de todo el emprendimiento.

Los Programas Maestros de plazo y costo se concretan en un cronograma y en un presupuesto, respectivamente. Una vez que éstos se aprueban, se establecen como línea base que, de manera separada o integrada, permitirán medir el desempeño del proyecto durante su ejecución y proyectar escenarios futuros (control y seguimiento).

El cronograma concentra estructuradamente las actividades con las que se llevarán a cabo la ejecución del proyecto y sus duraciones agrupadas en paquetes de trabajo, y éstos en Estructuras de Desglose de Trabajo (EDT)[11], secuenciadas en base a relaciones y restricciones de distinto tipo.

El presupuesto es una consolidación de todos los costos involucrados, idealmente estructurados en base a las actividades que se realizarán, y distribuidos en el tiempo en consistencia con la ejecución de todo, respetando el Plan de Cuentas. Es recomendable que la estructura de costos definida para este ítem, se asocie a la estructura del cronograma.

En adelante, se abordará más detalladamente el Programa Maestro, el Programa Contractual y los hitos en términos de plazo.

11 EDT o, por sus siglas en inglés, WBS (Work Breakdown Structure).

5.3.1. *Programa Maestro*

El Programa Maestro es el rector de la ejecución del proyecto, ya que debe responder a compromisos de alto nivel y que muchas veces son inamovibles (como los políticos). Así, ante cualquier desviación respecto de este programa, deben buscarse medidas de mitigación para volver a él. Más aún, proactivamente deben proyectarse posibles desviaciones (ya sean con análisis de rendimientos, riesgos, de escenarios, etc.), para evitar que éstas se concreten o, en su defecto, para preparar medidas de mitigación que disminuyan su impacto en el Programa Maestro.

Por otra parte, el Programa Maestro debe contener las actividades e hitos más relevantes que se contemplen, y aquellas que reflejen y representen el avance, secuencia, y rendimiento de la construcción. Esto permitirá medir el progreso y generar reportes claros, oportunos y consistentes con el Programa Contractual.

Una de las principales ventajas de este tipo de planificación, en los términos definidos hasta aquí, es que la alta dirección del proyecto no pierde de vista el lineamiento estratégico frente a cambios o incumplimientos contractuales particulares y, a su vez, puede tomar decisiones acertadas frente a posibles desviaciones que- si bien pueden afectar a algún contrato en particular- benefician al proyecto integral. Cuando sólo tenemos a la vista el Programa Contractual, las determinaciones que se tomen frente a incumplimientos o atrasos de un contrato en particular, pueden afectar en mayor grado al desempeño de todo.

En consecuencia, el Programa Maestro es la base de la gestión y de la toma de decisiones estratégicas y, por ende, debe prevalecer frente a las decisiones en el ámbito contractual.

Si bien el Programa Maestro debe actualizarse (o reprogramarse) para reflejar la realidad de la ejecución del proyecto, esta acción debe tener una frecuencia menor a los reajustes del Programa Contractual. No obstante, la actualización del primero debe basarse en los hechos consumados más que reflejar proyecciones o tendencias especulativas, ya que no debe perder su condición de “norte” del emprendimiento, para cumplir los compromisos estratégicos. En este sentido, la presión por lo que resta de ejecución, sin dejar de ser realistas, siempre debe estar sobre los Programas Contractuales.

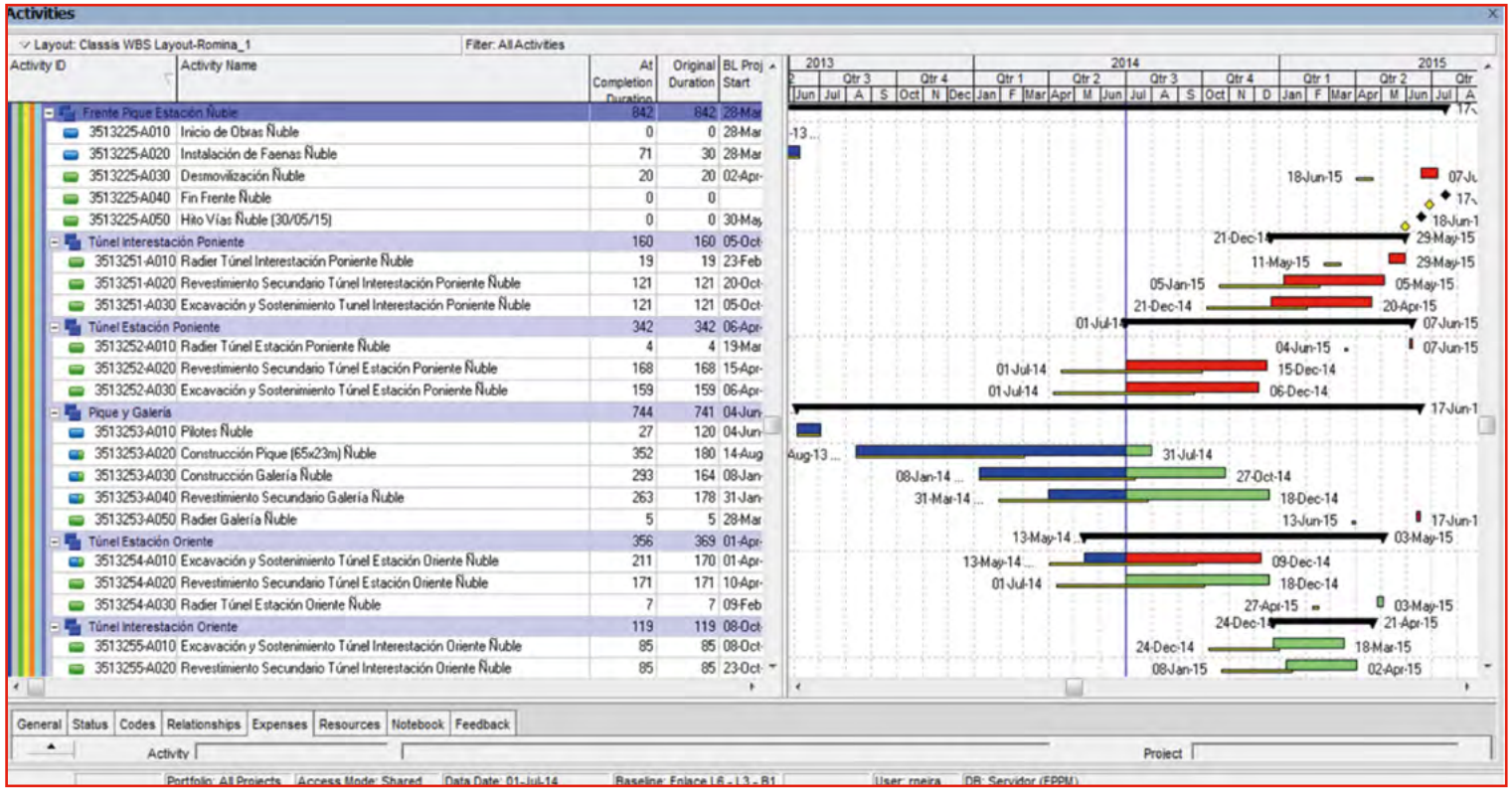
Para que el Programa Maestro no pierda validez, es imprescindible que el equipo responsable tenga la experiencia suficiente como para levantar alertas oportunas, que en el ámbito contractual son imperceptibles. Además, debe haber una estrecha relación y comunicación con el seguimiento y control de los riesgos del proyecto. Por último, el equipo a cargo de su gestión tiene que mantener vigilancia permanente sobre la ruta crítica (secuencia de actividades con holgura cero) y sobre las rutas subcríticas del cronograma (la consecución de tareas con mayor probabilidad de tornarse críticas).

La estructura del Programa Maestro dependerá de una definición consensuada del equipo de proyecto, en base a su experiencia y criterios particulares. Sin embargo, la reportabilidad que se defina en el Plan de Comunicaciones es fundamental que sea considerado, ya que aspectos como: qué se va a informar, cómo, con qué frecuencia, a quiénes, etc., son importantes a la hora de ser precisos, claros y oportunos para con los stakeholders. El Programa Maestro puede estar estructurado por varios criterios, tales como: por hitos, especialidades, sectores, entregables, etc.

En la Figura 5.16 se muestra un ejemplo de fragmento de Programa Maestro tipo para un proyecto metroferroviario, donde se puede apreciar una fecha de control y la ruta crítica.

Figura 5.16

"Ejemplo de fragmento de Programa Maestro tipo para un proyecto metroferroviario"



Fuente: Metro de Santiago.

Para el caso de la planificación de proyectos lineales (como es el caso de los metroferroviarios), es usual la utilización del diagrama Espacio-Tiempo, en que las actividades ocupan sus posiciones respecto al eje X (distancia) y al eje Y (tiempo), lo que permite ver fácilmente no solamente su localización, sino también su dirección de avance y tasa de progreso de manera inmediata.

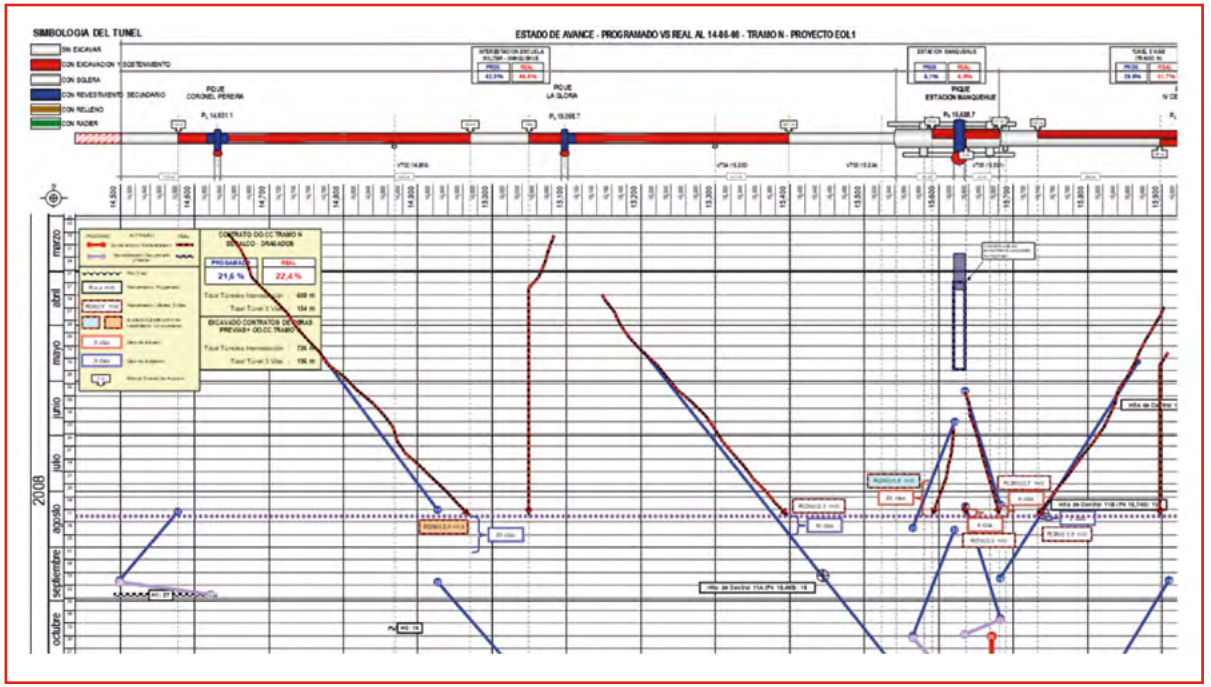
Además, las diferentes actividades se representan usando íconos geométricos cuya ubicación en el diagrama es análoga a su posición real en el entorno de trabajo, lo que permite una visión global e inmediata de todas las tareas del proyecto en un único esquema.

Esto es muy práctico cuando se quiere mostrar de manera comparativa el estado de avance respecto a su línea base, el desempeño de los rendimientos de manera visual, y proyectar de manera gráfica el avance de las actividades.

En las Figuras 5.17 y 5.18 se muestran fragmentos de diagrama Espacio-Tiempo (también conocido como Tiempo-Camino) de Programas Maestros de diferentes proyectos de metro, con control de avance de las excavaciones de pozos (piques) y túneles, donde se aprecia las desviaciones del progreso de las actividades con respecto a la línea base.

Figura 5.17

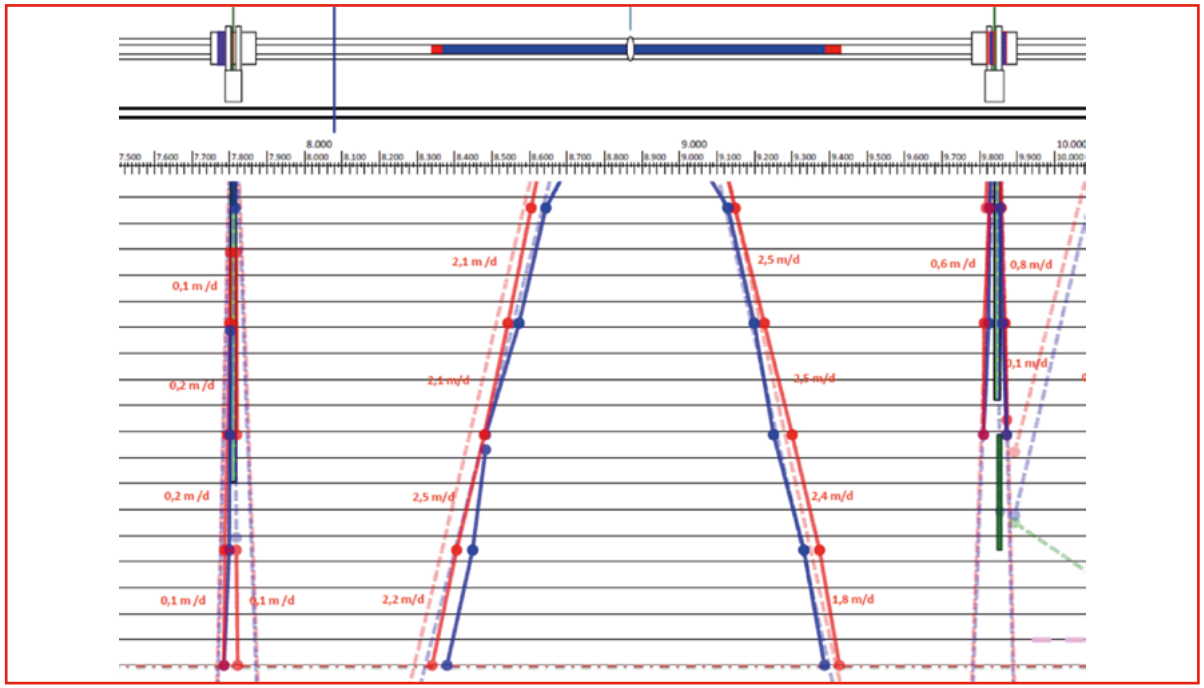
"Extracto del diagrama Espacio-Tiempo del proyecto 'Extensión Oriente Línea 1 de Metro de Santiago', con control de avance de excavaciones de túneles"



Fuente: Metro de Santiago.

Figura 5.18

"Extracto del diagrama Espacio-Tiempo de un proyecto tipo, con control de avance de excavaciones de pozos (piques) y túneles"



Fuente: Metro de Santiago.

5.3.2. ***Programa Contractual (de Detalle)***

El Programa Contractual (de detalle), a diferencia del Programa Maestro, rige la ejecución del contrato de construcción. Debe considerar todas las actividades, tareas, hitos, recursos, tiempos, secuencias y relaciones que permitan realizar las obras hasta un nivel de detalle tal que- siendo mayor al del Programa Maestro- permita controlar las condiciones convenidas tanto en términos del cumplimiento de la metodología constructiva y recursos utilizados, como de los elementos necesarios para definir el pago del avance de los trabajos.

Análogamente, para el caso de los sistemas de equipamientos, este programa debe considerar todo lo que permita el logro de la fabricación de los mismos: elaboración de prototipos, pruebas, transporte, actividades de montaje, testeos particulares en obra, pruebas integradas, estáticas y dinámicas, etc.

Con todo, el Programa Contractual es el resultado de una licitación en la que el proponente adjudicado compromete el cumplimiento de las bases de licitación (los pliegos), que a su vez se elaboraron considerando las necesidades del Programa Maestro.

Cuando la ejecución del contrato sufre alguna desviación, es importante ver más allá del impacto en el convenio (que puede estar asociado a multas), ya que una reprogramación que pudiera ser eficiente

contractualmente, puede no serlo para el proyecto. Es aquí donde el equipo responsable del Programa Maestro debe intervenir de manera proactiva, para- independiente del impacto en el costo, plazo o desempeño del contrato–, asegurar que el "golpe" sea mínimo.

Si bien en la parte introductoria de este título se declara que se gestionan estos dos programas cuando se cuenta con varios contratos de construcción de manera simultánea, la mirada estratégica del Programa Maestro por sobre el Programa Contractual es mucho más relevante e incidente para la toma de decisiones frente a desviaciones.

En un convenio "llave en mano", en cambio, la incidencia es menor, ya que los compromisos, generalmente, son a plazos más prolongados, siendo el contratista quien debe gestionar la mejor estrategia para que no se afecte el Programa Maestro.

Con todo, el Programa Contractual se gestiona también a través de cronogramas y diagramas Espacio-Tiempo, sólo que con un nivel de detalle mucho mayor debido a que el control es específico, y muchas veces se examinan aspectos que condicionan el pago de avance de obra (recursos, secuencia, hitos, etc.).

En general, si los programas contractuales son consistentes con el Programa Maestro, y no presenten desviaciones de plazo, éste debiera mantenerse vigente y sólo reprogramarse cuando las condiciones de avance reales o contractuales vigentes impacten de manera significativa- e irremediable- algún hito relevante del proyecto.

Dependiendo del equipo de proyecto, particularmente del área de programación y control, se recomienda definir la estructura de descomposición de contrato, y que ésta tenga correspondencia con el Programa Maestro. Esta decisión debe consensuarse antes del o los procesos de licitación, para no dejarlo a libre criterio de los proponentes. La importancia de esto radica principalmente en dos aspectos: la estandarización de la estructura del programa, y la planificación y objetivación de antemano de los cálculos de avances, el control y seguimiento del contrato, y su correspondencia con el Programa Maestro.

5.3.3. ***Hitos***

Como ya se mencionó, los hitos son objetivos, eventos o logros de duración cero, particulares e importantes para el proyecto, o bien para un contrato en particular.

A nivel de un megaproyecto integral, los hitos son principalmente estratégicos, siendo la base- si bien no única–, para la definición de las metas contractuales.

Así, un hito del Programa Maestro puede ser el origen de uno(s) contractual(es), como por ejemplo: "Paso del primer tren", que obliga a que todos los convenios civiles, de vías y de energía debieran, al menos, haber terminado las intervenciones de obra gruesa, montaje de equipamiento, y pruebas que permitan la tracción y el paso libre de un tren sobre el trazado ya construido. Además, este mismo objetivo exige al contrato responsable del Material Rodante, a contar con al menos un tren con todos sus testeos funcionales finalizados y aprobados.

En términos de recursos, los hitos del Programa Maestro pueden condicionar su inyección por parte del ente financiero (a nivel de presupuesto), mientras que las metas contractuales suelen estipular el pago de avance de obras hacia el contratista.

Por ejemplo, a nivel de Programa Maestro, el hito "Término de la Ingeniería Básica" puede generar el ingreso de recursos previamente aprobados por la banca multilateral, para licitar las obras de construcción del proyecto.

A nivel contractual, la "Excavación y sostenimiento del túnel interestación hasta el Pk (Punto de kilometraje) 0,150" puede condicionar el pago de los primeros 150 m de excavación, por lo que el contratista no será retribuido por los recursos gastados hasta antes de ese punto. En este ejemplo, el hito no obedece al término de una obra o de

una etapa en particular, sino más bien es un hito de control que condiciona el pago que, de paso, pretende promover el alcanzar tempranamente el rendimiento de excavación óptimo.

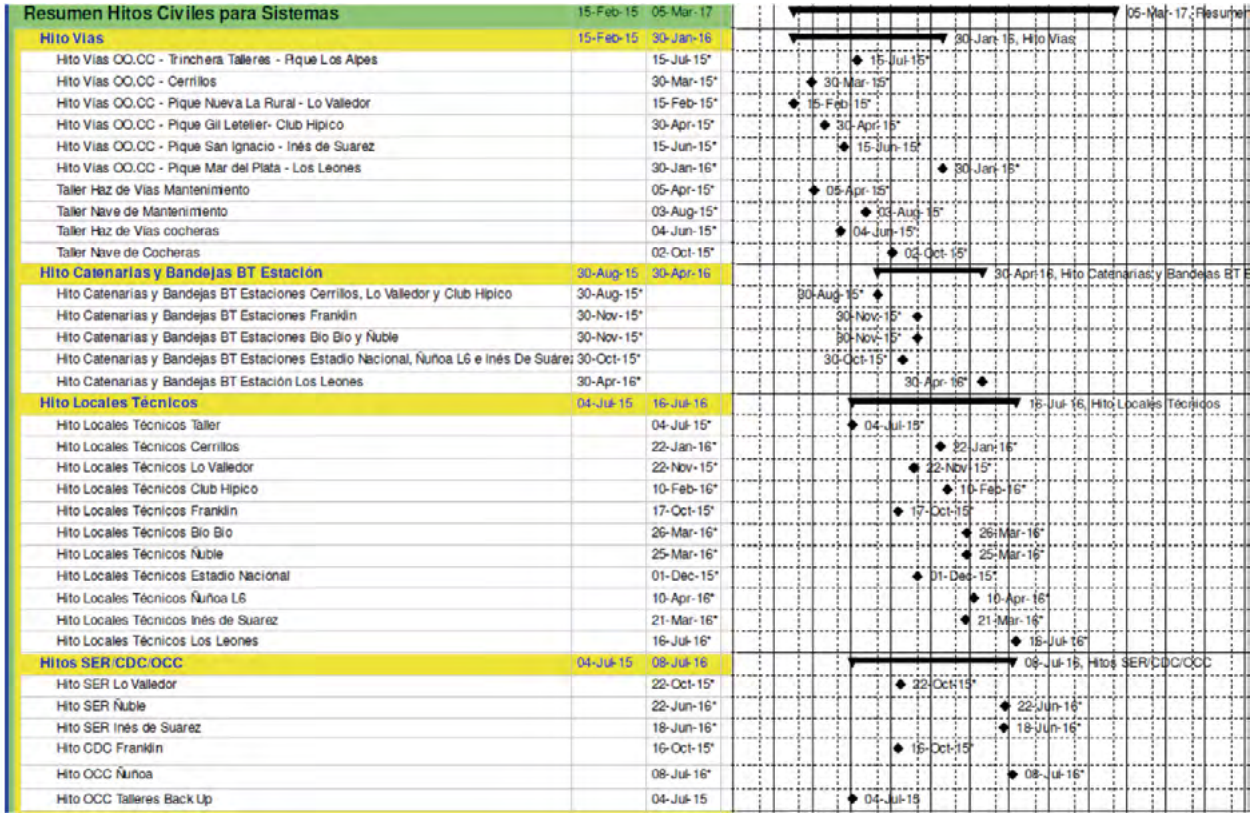
Por otra parte, hay objetivos que no necesariamente están asociados a recursos, sino más bien a reflejar el estado de avance o de un contrato en particular. Ejemplos de ello son los siguientes:

- Hito de aprobación ambiental del proyecto (hito de Programa Maestro).
- Hito de toma de posesión de terreno para talleres (hito de Programa Maestro).
- Hito de término de excavación y sostenimiento de túnel interestación (hito de Programa Maestro e hito contractual).
- Hito de entrega de local técnico de estaciones (hito de Programa Maestro y contractual).
- Hito de llegada del primer tren (hito de Programa Maestro y contractual).
- Hito de disponibilidad de energía de tracción (hito de Programa Maestro y contractual).
- Hito de paso del primer tren (hito de Programa Maestro).
- Hito de inicio de Marcha Blanca (hito de Programa Maestro).

En la figura 5.19, se presenta un ejemplo de hitos de Programa Metro tipo (extracto) de obras civiles para sistemas de un proyecto metro de Santiago de Chile.

Figura 5.19

"Hitos de Programa Metro tipo (extracto) de obras civiles para sistemas de un proyecto metro de Santiago de Chile"



Resumen Hitos Civiles para Sistemas	15-Feb-15	05-Mar-17
Hito Vias	15-Feb-15	30-Jan-16
Hito Vias OO.CC - Trinchera Talleres - Pique Los Alpes		15-Jul-15*
Hito Vias OO.CC - Cerrillos		30-Mar-15*
Hito Vias OO.CC - Pique Nueva La Rural - Lo Valledor		15-Feb-15*
Hito Vias OO.CC - Pique Gil Letelier- Club Hipico		30-Apr-15*
Hito Vias OO.CC - Pique San Ignacio - Inés de Suarez		15-Jun-15*
Hito Vias OO.CC - Pique Mar del Plata - Los Leones		30-Jan-16*
Taller Haz de Vias Mantenimiento		05-Apr-15*
Taller Nave de Mantenimiento		03-Aug-15*
Taller Haz de Vias cocheras		04-Jun-15*
Taller Nave de Cocheras		02-Oct-15*
Hito Catenarias y Bandejas BT Estación	30-Aug-15	30-Apr-16
Hito Catenarias y Bandejas BT Estaciones Cerrillos, Lo Valledor y Club Hipico	30-Aug-15*	
Hito Catenarias y Bandejas BT Estaciones Franklin	30-Nov-15*	
Hito Catenarias y Bandejas BT Estaciones Bio Bio y Ñuble	30-Nov-15*	
Hito Catenarias y Bandejas BT Estaciones Estadio Nacional, Ñuñoa L6 e Inés De Suárez	30-Oct-15*	
Hito Catenarias y Bandejas BT Estación Los Leones	30-Apr-16*	
Hito Locales Técnicos	04-Jul-15	16-Jul-16
Hito Locales Técnicos Taller		04-Jul-15*
Hito Locales Técnicos Cerrillos		22-Jan-16*
Hito Locales Técnicos Lo Valledor		22-Nov-15*
Hito Locales Técnicos Club Hipico		10-Feb-16*
Hito Locales Técnicos Franklin		17-Oct-15*
Hito Locales Técnicos Bio Bio		26-Mar-16*
Hito Locales Técnicos Ñuble		25-Mar-16*
Hito Locales Técnicos Estadio Nacional		01-Dec-15*
Hito Locales Técnicos Ñuñoa L6		10-Apr-16*
Hito Locales Técnicos Inés de Suarez		21-Mar-16*
Hito Locales Técnicos Los Leones		16-Jul-16*
Hitos SER/CDC/OCC	04-Jul-15	08-Jul-16
Hito SER Lo Valledor		22-Oct-15*
Hito SER Ñuble		22-Jun-16*
Hito SER Inés de Suarez		18-Jun-16*
Hito CDC Franklin		16-Oct-15*
Hito OCC Ñuñoa		08-Jul-16*
Hito OCC Talleres Back Up		04-Jul-15

Fuente: Metro de Santiago.

5.4. Construcción de obras civiles

5.4.1. Estaciones

El concepto de urbanismo moderno y futuro no se puede disociar de ninguna manera de la necesidad del establecimiento de redes de transporte y comunicaciones en las ciudades, ya que la movilidad urbana es sinónimo de calidad de vida.

De la misma manera que el concepto de "urbanismo" se aplica a las ciudades, desde el punto de vista de la movilidad, una especie de "urbanismo subterráneo" se traspasa a las estaciones metropolitanas donde deben crearse espacios habitables y transitables, pues éstas no son un punto frontera ni una barrera entre el orden de la urbe y la red de transporte, sino nexos que deben estar perfectamente diseñados en consonancia y armonía mutua.

Sobre la definición de "estación" influyen multitud de factores, que en algunas ocasiones pueden tener más o menos consistencia, lo que obliga a que los estándares fijados- según la administración correspondiente- puedan llegar a ser variados.

En cualquier caso, no hay que dejar de tener presente que se trata de un espacio de conexión para la utilización de viajeros de redes de transporte, por lo que se debe pensar en la mayor eficiencia frente a otros factores. Por este motivo, la funcionalidad debe ser máxima.

Teniendo como base de partida una ubicación determinada de estación, fijada por planeamiento, hay que centrarse en los valores de ajuste que permitan la definición correspondiente de cada una de ellas.

Figura 5.20
"Ejemplo de radio de acción de servicio de una serie de estaciones en el Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Entre lo fundamental que puede influir sobre el diseño de una estación están las definiciones básicas principales, que suelen estar condicionadas por otra serie de conceptos complementarios.

Éstos, suelen basarse en función de la administración correspondiente en legislaciones específicas; normativa de obligado cumplimiento; recomendaciones y guías prácticas; normativa y reglamentación interna; criterios de estandarización; análisis de riesgos; costumbres; e, incluso, adaptaciones por innovaciones ideológicas y tecnológicas, en muchos casos.

Con un cierto orden, estos criterios pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Funcionalidad: demanda actual y futura.
- Conectividad.
- Arquitectura y tematización.
- Ubicación y profundidad.
- Instalaciones y ventilación.
- Instalaciones comerciales y accesorias.
- Sistemas de evacuación

Hay que tener presente el tipo de estación en función de la definición de la infraestructura, que podrá ser elevada, a nivel, o soterrada; e incluso el tipo de explotación, con líneas exprés, con dos o más vías, etc.

Es importante destacar que las estaciones no son museos, centros comerciales, espacios culturales, etc. No obstante, como actividad complementaria a la principal, se puedan tematizar de una forma específica u ofrecer otro tipo de servicios.

Estos espacios tampoco son reflejos elitistas de administraciones, empresas, políticos, arquitectos ni ingenieros. Hay que tener muy presente que son infraestructuras de gran envergadura que son muy costosas de modificar una vez construidas, y que tienen una proyección temporal muy elevada (de cientos de años). Por lo mismo, deben estar muy bien definidas, pensadas y repensadas, para que sean fiables, seguras, mantenibles y flexibles a futuras adaptaciones.

Los conceptos y actividades principales a tener presente en el diseño y construcción de estaciones de un proyecto ferroviario de transporte masivo de pasajeros, son: funcionalidad, conectividad, arquitectura y tematización, ubicación y profundidad (especialmente si se trata de metros subterráneos), y ejecución.

5.4.1.1. ***Funcionalidad***

El objetivo fundamental de una estación es el materializar un punto de interconexión entre el viajero y la infraestructura, donde se pueda hacer el transbordo lo más rápidamente posible, dotándolo de la mejor calidad que se pueda ofrecer. Así, el concepto de "funcionalidad" es clave y extrañamente se deja de lado en muchas ocasiones o, simplemente, se desestima frente a cuestiones laterales.

El viaje, para el cual se crea la infraestructura, puede desglosarse en varias etapas:

- *1ª Etapa:* origen- acceso de estación.
- *2ª Etapa:* acceso de estación- andén.
- *3ª Etapa:* viaje en tren.
- *4ª Etapa:* andén- salida estación.
- *5ª Etapa:* salida estación- destino.

1ª Etapa: origen- acceso de estación y ***5ª etapa:*** salida estación- destino.

Los estudios de transporte proponen la situación óptima en las estaciones para conseguir la cobertura más amplia que se pueda, atendiendo al criterio de limitar la máxima distancia recorrida a pie por la superficie.

Los estudios que provienen de los resultados de análisis de movilidad y demanda son contrastados con mapas geográficos, de proyección demográfica, sociales, etc., existiendo la posibilidad de verse influenciados por criterios designados por las administraciones de turno, tendencias actuales o previsiones futuras, para actuar sobre los equilibrios demográficos y sociales.

Dependiendo de la distancia entre el origen y destino del recorrido- y de los medios de transporte alternativos- los accesos de entrada y/o salida, y la salida de las estaciones elevadas o subterráneas, son factores disuasivos para el viajero, pudiendo optar por otros medios de transporte.

Este dato, resultante del análisis y las experiencias de viaje, motivan a posicionar los accesos de manera tal que el recorrido en ellas sea el menor posible. Es por ello que, para el caso de estaciones no a nivel superficial, la idea es que las entradas se definan lo más someras posible.

2ª Etapa: acceso- andén y ***4ª Etapa:*** andén- salida de estación

Estas etapas, en estaciones subterráneas y aéreas, deben estar optimizadas para minimizar los recorridos horizontales y verticales, que tienen la peculiaridad de desarrollarse en un medio hostil.

Figura 5.21

"Construcción de estación en viaducto de línea 3 de SITEUR de Guadalajara"



Fuente: SITEUR.

Por lo mismo, es fundamental el modelamiento de flujos en el diseño de las estaciones para minimizar los desplazamientos, sin perjudicar la fluidez, especialmente en el control del peaje y en la mecanización de los movimientos verticales.

A lo largo de la historia, la implementación de nuevas técnicas constructivas y novedosos procedimientos de consolidación de suelos han ido modificando las profundidades medias en las estaciones y la forma de las mismas.

Hoy en día, con los medios y soluciones existentes en el mercado, podría decirse que es muy probable la construcción de cualquier tipo de estación, no solo enterrada, si no también elevada.

Con todo, se debe tener clara la funcionalidad principal para la cual una estación se ha creado: facilitar el movimiento de personas entre la ciudad y el medio de transporte minimizando los recorridos, de tal forma que el tiempo invertido en ese transbordo sea el menor posible.

Cuestiones paralelas a lo principal (transporte de pasajeros) no deben condicionar el mismo. El usuario agradece profundamente que existan servicios complementarios como tiendas de diversos productos, áreas de internet libre, espacios culturales abiertos a todo público, etc., (lo que de paso genera cercanía con la marca de la empresa metroferroviaria y significa, generalmente, Ingresos No Tarifarios). Sin embargo, nunca se debe olvidar que su funcionalidad principal es facilitar la movilidad de los usuarios en la ciudad.

Las recomendaciones principales, entre otras, son:

- Realizar un diseño preliminar.
- Poner en contacto el diseño con todos los intervinientes en la operación y mantenimiento futuro de la instalación.
- Realizar simulaciones de movimientos de viajeros, para situación inicial y futura. También, para situaciones degradadas e incluso accidentales.

5.4.1.2. *Conectividad*

Realizar la conexión entre el entorno urbano de las estaciones, así como la interconexión tanto dentro de la propia estación, como entre varias líneas de la red o distintos modos de transporte, hace que este aspecto tenga una gran importancia. Así mismo, estos nexos se deberán desarrollar en los espacios físicos disponibles, bajo rasante o sobre rasante.

En algunas ocasiones, donde las soluciones constructivas tienen mayor peso que la conectividad, por ejemplo, ésta tiene que realizarse de forma que los tiempos y recorridos entre puntos de conexión sea siempre el menor.

Hoy en día, con los grandes avances en construcción y maquinaria existentes, se puede materializar prácticamente cualquier solución. Si ésta lo permite, conviene optimizarla con el fin de recorrer las menores distancias posibles, tanto en horizontal, como en vertical.

Dentro del marco de tipo de infraestructura, podrán existir tipos diferentes de estaciones en función de la ubicación, como se ve en las siguientes figuras:

Figura 5.22

"Estación elevada U-Bahn Kottbusser Tor de Metro de Berlín"



Fuente: http://egoistic56.rssing.com/chan-24372128/all_p7.html

Figura 5.23

"Estación subterránea con andén central de Metro Río"



Fuente: ALAMYS.

Figura 5.24

"Estación subterránea en túnel de Metro de Bilbao"



Fuente: Transportes de Euskadi.

La conectividad en estas obras debe tener muy presente el flujo dinámico de viajeros, realizando las simulaciones correspondientes.

Las conexiones entre las redes de transporte del mismo sistema suelen tener capacidades similares, pero no hay que olvidar las frecuencias, gálibos de vehículos, longitud de trenes, etc., que puedan influir.

Los nexos entre otros modos de transporte pueden tener mayor impacto, por lo que las zonas de desplazamiento entre unos y otros, e incluso las áreas de espera, deben tener suficiente capacidad para absorber las diferencias que existen entre dichos modos.

Las recomendaciones principales son:

- En estaciones subterráneas estándar deberá garantizarse la conectividad con el medio urbano, desde el punto de vista de la situación de los accesos en puntos estratégicos y el número de ellos a contemplar.
- En estaciones subterráneas de gran envergadura se deberían colocar varias entradas y salidas. Éstas deben situarse, dentro de lo posible, en zonas libres de desplazamientos con otros fines o con poca influencia de los mismos, y tendrán que ser lo más amplias posibles.
- En estaciones subterráneas de intercambio con otros modos, es decir, intercambiadores de transporte o estaciones intermodales, se deberá tener presente el impacto del resto de dichos modos en la red y viceversa, para que se diseñen los nexos verticales (ascensores, escaleras mecánicas, etc.) y horizontales (galerías de interconexión y pasillos) con capacidad para absorber los movimientos que se generen. Así mismo, las zonas de

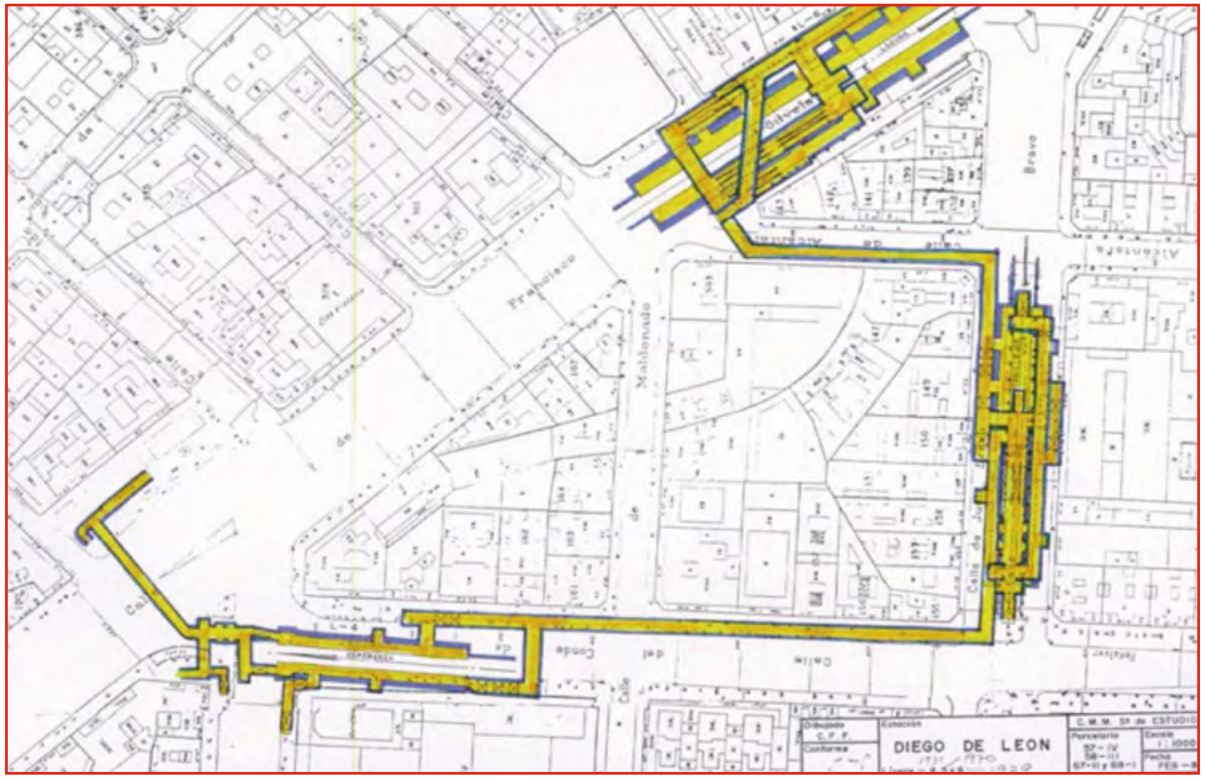
espera entre uno y otro modo debieran ser suficientemente amplias, como para absorber los flujos de pasajeros derivados de los intervalos de frecuencias de los sistemas de transportes involucrados.

- En estaciones a nivel, el efecto "barrera" o "estorbo" en superficie es el que más impacto puede tener en los flujos de pasajeros con el entorno urbano, ya que no hay importantes diferencias de nivel como para disminuir la congestión con desplazamientos verticales. Es por esto que deberían situarse en zonas amplias, con el menor impacto sobre otros modos de transporte, tal como plazas o parques.
- En estaciones elevadas, si son de intercambio, pueden utilizarse soluciones e infraestructuras construidas a nivel de forma paralela- si el espacio lo permite–, o pueden utilizarse otras a distinto nivel, teniendo esta última solución un mayor impacto sobre el espacio público, por lo que es importante que- tanto funcionalmente, como arquitectónicamente- la edificación resultante esté en "sintonía" con el contexto urbano.
- De manera común a todas las soluciones, se dará relevancia a las zonas de interconexiones, para que sean amplias y expeditas, evitando soluciones confusas y "laberínticas".
- De la misma manera, todas las soluciones deben contemplar facilidades en el conexionado con elementos de desplazamiento mecanizados vertical y horizontal, para la demanda actual y futura.

Existen múltiples soluciones que se han realizado en el mundo, respecto a la conexión entre modos de transporte y "sintonía" con el medio urbano. Se presentan a continuación algunos de ellos:

Figura 5.25

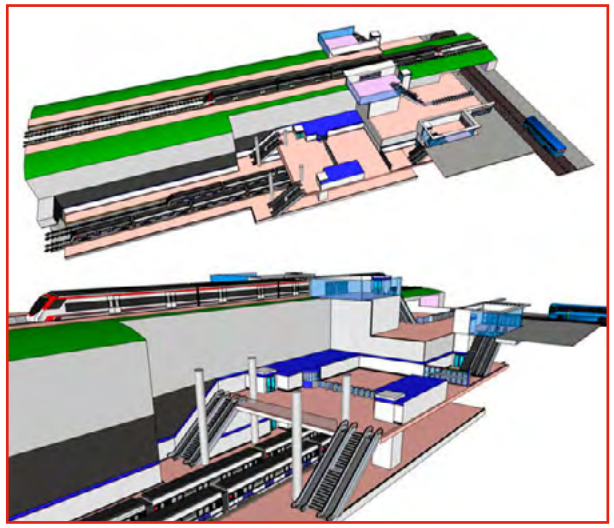
"Estación en caverna interconexionada (intermodal) de Diego de León de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.26

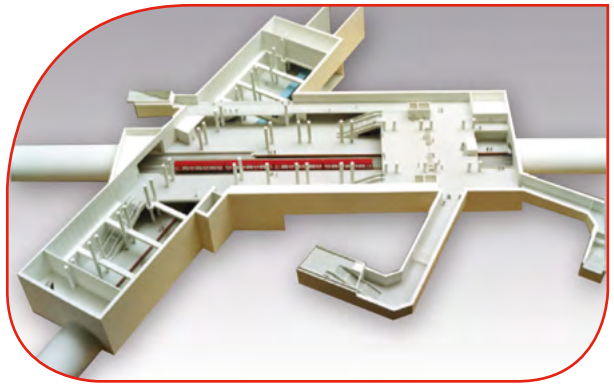
"Esquema de intercambiador de estación Mirasierra de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.27

"Esquema de intercambio en estación con dos líneas, sin galerías de conexión, de Metro de Madrid



Fuente: Metro de Madrid.

5.4.1.3. ***Arquitectura y tematización***

Utilizando la definición de arquitectura como el arte y la técnica de proyectar, diseñar, construir y modificar el hábitat humano- incluyendo edificios de todo tipo, estructuras y espacios arquitectónicos y urbanos–, puede decirse que esta disciplina da sentido a la materialización de las ideas que, primeramente, se plasman en un documento o proyecto, y posteriormente se ejecutan.

Dependiendo de la administración o empresa correspondiente, este campo puede abarcar la figura del "ideador" o "integrador", que se encarga de recoger las necesidades actuales y futuras de la instalación, para poder llevarlas a la práctica.

Al igual que ocurre en otros ámbitos de la arquitectura, la materialización del proyecto de una vivienda se lleva a cabo por un profesional de la materia que es el encargado de recoger las necesidades de sus clientes, ponerlas en orden y hacerlas ejecutables. En muchas ocasiones, estas instrucciones pueden no estar suficientemente claras, por lo que la pericia de esta persona, con experiencia sobrada, es más que válida para ir dando encaje a la materialización de todo.

Utilizando el símil anterior, la figura del "técnico" (ingeniero civil, arquitecto, ingeniero industrial, etc.), con experiencia y conocimientos suficientes, es la encargada de materializar los volúmenes correspondientes que conforman una infraestructura de estas características, teniendo siempre las instalaciones necesarias que la hagan completamente funcional, no sólo por la distribución de espacios, sino también por la incorporación de las edificaciones necesarias.

Estos espacios públicos suelen ser excelentes referentes, por los motivos que correspondan, para servir de proyección a los viajeros de cuestiones de relevancia que tengan que ver con la ubicación de la estación o el nombre conmemorativo de la misma, por ejemplo.

Esta tematización de estaciones puede llevarse a cabo mediante la conformación de los acabados correspondientes (con murales, si se quiere) o con la introducción dentro de la volumetría de la misma, de espacios de visita o espacios conmemorativos (como pequeños museos), sin que ello suponga costos adicionales significativos.

Respecto del diseño de estaciones, debe existir cierta flexibilidad en la definición de volúmenes y encaje de espacios. Así mismo, las nuevas soluciones y opciones deben también tener cabida para idear nuevas respuestas testeadas que mejoren la mantenibilidad, flexibilidad, etc.

Un organismo o equipo de trabajo único debe tener presente cómo converger todas las necesidades. Tiene que hacerlo de la manera más adecuada posible, aun cuando en primera instancia pueda parecer una "solución" más costosa, ya que si

se considera la proyección de costos futuros (como por ejemplo el mantenimiento de la infraestructura)- considerando que estas instalaciones tienen un periodo de vida útil elevado-, pueden resultar económicamente más ventajoso.

De la misma forma, los órganos de decisión y responsabilidad deben estar perfectamente definidos y conocer todos los roles que intervienen, para que las decisiones esenciales no demoren más de lo requerido.

Los requerimientos, que evolucionan con el tiempo, deben estar fijados en el momento de la definición de la estación, por lo que es necesario tenerlos claro, basándolos en soluciones estándar suficientemente contrastadas. Estas cuestiones se recogerán en un documento funcional o programa de necesidades.

Las recomendaciones, entonces, de carácter organizativo y técnico:

- Definir el equipo redactor, con capacidad de decisión.
- Fijar programa de necesidades.
- Identificar soluciones basadas en proyectos funcionales y normativa interna.
- Soluciones estándar, económicamente mantenibles y flexibles.

Cada administración o empresa mandante debe tener definida su organización; disponer de la documentación interna adecuada para definir sus necesidades; y determinar en qué forma hacerlo para materializarlo en la construcción final de una estación.

En algunas ocasiones, estas administraciones hacen público sus documentos, o suelen formar parte de los pliegos de contratación cuando se requieren servicios de consultoría, por ejemplo.

En otras ocasiones, los órganos de decisión o los equipos redactores fijan las condiciones para la infraestructura de la estación en el momento de su ejecución, dándole forma tratando de tomar todas las necesidades que son requeridas por la instalación.

Figura 5.28

"Acceso a estación, Metro Río"



Fuente: ALAMYS.

Figura 5.29
"Estación Universidad de Chile de Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

5.4.1.4. ***Ubicación y profundidad***

La ubicación de las estaciones debe estar definida por cuestiones técnicas actuales y con proyección futura, que podrán verse- a su vez– influenciadas por cuestiones de otra índole, actuales o venideras.

Los estudios de demanda, matrices Origen-Destino (O-D), mapas de movilidad, etc., definen la ubicación óptima de las estaciones. En muchas ocasiones y con los *softwares* actuales, estos modelos son utilizados para hacer las modificaciones correspondientes de tal forma que- en un escenario cortoplacista- pueda identificarse la mejor solución; y, en un escenario largoplacista, se logre definir zonas reservadas o respuestas que doten de mayor flexibilidad a la solución actual propuesta.

Dependiendo del tipo de estación (bajo rasante, a nivel, o elevadas), se deberá considerar lo siguiente:

Estaciones bajo rasante:

Superficie de ocupación en planta de la estación, junto con longitudes necesarias para la ubicación de aparatos de vía estándar.

Disponibilidad de espacios en superficie:

- Utilización de parques, parterres, zonas verdes (de poco valor ambiental), plazas, etc.
- Utilización de viales en zonas residenciales, bulevares, etc.

- Requerimientos de espacios en superficie para la ubicación de elementos accesorios a la estación: pozos de ventilación, bombeo, salidas de emergencia, accesos, templetes de ascensores, etc.

Reserva de espacio para la ubicación de una posible estación futura, influenciando el trazado y la solución constructiva del túnel (en función del tiempo estimado en construcción de la misma).

Otros condicionantes:

- Legislativos y administrativos.
- Sociológicos y demográficos.
- Demográficos.

Cuando la superficie a disponer en planta no es suficiente para ubicar la estación, pueden recurrirse a estas soluciones:

- Tipo caverna.
- Tipo cajón principal con pozos (piques) y galerías laterales en mina (excavación subterránea), para ubicar escaleras y realizar las conexiones correspondientes.
- En los casos más extremos, y dependiendo de la legislación y administración correspondiente, se pueden dar soluciones de expropiación de edificaciones privadas o utilización de espacios públicos. Incluso, puede plantearse la compra directa de terrenos sobre propietarios, en función de los plazos y de los condicionantes que puedan darse.

En algunas ocasiones, los condicionantes son tan restrictivos que impactan sobre la morfología de la estación, teniendo que recurrir a respuestas "no estándar" o con un grado de modificación sobre la solución "estándar" que resulta significativo, debiendo rehacer la geometría de la infraestructura.

De igual manera, en la construcción de las estaciones- y de cara a la ubicación- se hace necesaria la reserva de espacio para acopios temporales, medios auxiliares, etc., imprescindibles para la construcción, el análisis de los accesos, el movimiento de maquinaria pesada, y el impacto que suponen en el entorno de la estación.

En caso de que ésta vaya a ser utilizada como pozo de ataque para métodos de construcción con tuneladoras, las zonas auxiliares suelen ser significativas, aunque pueden hacerse excepciones con una buena logística entre la ejecución de la estación y túnel, con la zona auxiliar.

La profundidad de la estación es un factor clave en su edificación. Suele ser la resultante de un proceso iterativo, en función de las condiciones de contorno geográfico y los procesos constructivos necesarios para la ejecución de las obras de la estación. También, suele estar condicionada por la pendiente que pueda absorber el Material Rodante, en función de la distancia horizontal, lógicamente, ya que- de forma concatenada- la estación anterior puede condicionar la profundidad de la siguiente, y así sucesivamente.

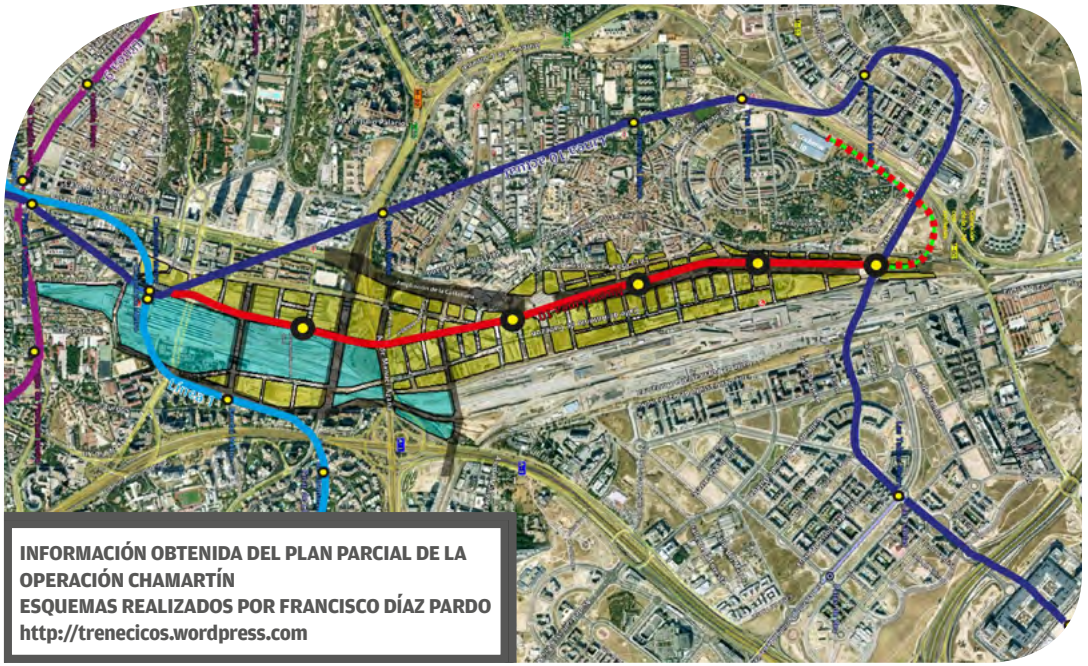
En algunos proyectos, se suele priorizar la minimización de los desplazamientos verticales; mientras que, en otras, la elección del método constructivo en función del tipo de suelo determina la profundidad de la estación de forma segura. En algunos casos, los condicionantes climatológicos o la presencia de accidentes geográficos difíciles de evitar influyen sobre la instalación, debiendo buscar mayores profundidades.

Por ello, se podría establecer esta clasificación:

- Influencia de la explotación: funcionalidad de la estación (intercambiadores), intercomunicación con otros medios de transporte, influencia sobre espacios de interés público o privado, etc.
- Influencia del entorno físico: tipo de suelo, disponibilidad de espacio en superficie, existencia de freáticos someros, accidentes geomorfológicos profundos, etc.
- Condicionantes existentes paralelos a la infraestructura: instalaciones y sistemas generales; arqueología y paleontología; y edificaciones o construcciones subterráneas colindantes.
- Impacto de la solución constructiva: solución en caverna, solución "*cut and cover*", tuneladora.

Figura 5.30

"Ubicación y trazado de futura línea 10b en Zona Chamartín de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Estaciones a nivel:

En este caso, se crea el efecto "punto gordo" sobre la trama urbana. El trazado, emergente o no y antes y después de la estación, genera "efecto barrera", siendo éste de mayor envergadura cuando se trata de la estación, ya que necesita mayor superficie en planta.

El diseño de esta estructura debe tener especial atención en los elementos que prevengan:

- Situaciones accidentales: de vehículos, congregaciones masivas de personas en superficie por manifestaciones, conciertos, etc.
- Situaciones extraordinarias: como vandalizaciones, por ejemplo.

En este caso, la construcción se aborda de manera abierta en la superficie, lo que requiere gran espacio no sólo para la obra, sino también para la logística necesaria para su construcción. Por lo tanto, generalmente se requieren desvíos de tránsito, cambios de recorridos de transporte de superficie, retirar o trasladar redes de servicios, etc.

Figura 5.31

"Estación elevada intermodal metro - tranvía, Metro de Medellín"



Fuente: ALAMYS.

Estaciones elevadas:

En estaciones elevadas (viaducto), el efecto "barrera" se ve disminuido significativamente sin que tenga mucho impacto, aunque se traduce en un elemento visual muy importante, transformándose en un "muro ambiental", más que uno físico *per sé*.

En estos casos, los condicionantes de ubicación estarán determinados por el ambiente, las edificaciones colindantes y la normativa local, más que por cualquier otra cuestión. La utilización de espacios para la colocación de los pilares o soportes necesarios para crear la infraestructura, es lo que se necesita reservar, teniendo poco impacto en superficie.

Tanto para infraestructuras a nivel, como sobre elevadas, hay que tener presente el "efecto barrera" que produce, la generación de ruido, y las posibles vibraciones a los edificios cercanos.

Para la selección definitiva de la localización de la estación, será necesaria la comprobación in-situ de la posible ubicación, teniendo en cuenta las situaciones que se puedan generar antes y durante la ejecución de los trabajos, dejando lógicamente definida la situación final. Deberá prestarse especial atención a los accesos y ascensores: aislados (en superficie o con templetes como cobertura) o integrados en edificaciones existentes, de tal forma que puedan formar parte de las mismas.

Así mismo, tienen que considerarse otros elementos que quedarán ubicados en superficie, como salidas de emergencia, rejillas de ventilación, etc. En función de cada uno, se necesitará un mayor o menor espacio, accesos condicionados, entre otros. Estos sistemas no sólo requieren lugar para su ubicación física, sino también para situaciones de servicio, degradadas o incluso accidentales.

Respecto a la profundidad, en estaciones bajo rasante, éstas deben minimizar los recorridos de los viajeros, teniendo en cuenta que uno de los mayores condicionantes es el túnel de acceso a la estación, y la profundidad que éste traiga.

Otros factores paralelos pueden ser: edificaciones bajo rasante colindantes, subestaciones enterradas, depósitos, galerías de conexión, sistemas generales de la ciudad, etc., que pueden determinar e incluso "deformar" la estructura de la estación, pudiendo esquivar estas infraestructuras, desviarlas, relocalizarlas o integrarlas.

Los elementos geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos o climatológicos también pueden establecer la profundidad, así como los restos arqueológicos, paleontológicos, o estratos de interés.

Con todo, las recomendaciones principales son:

- Comprobación de espacios y análisis de la realidad física de la zona de la ubicación de la estación y los alrededores, así como los accesos que la trama urbana define para la llegada a la misma.
- Análisis de espacios necesarios para situaciones temporales y definitivas, tanto en servicio continuo, como degradado y/o accidental.
- Conocimiento del terreno en profundidad a nivel técnico y la incorporación en el estudio de la climatología, hidrología superficial y subterránea, etc.
- Mapas sociológicos y/o demográficos. Utilización de herramientas GIS.
- Utilización de estudios y bibliografía histórica y prehistórica. Aprovechar la etapa de reconocimiento geológico-geotécnico para la identificación de restos de todo tipo. En su caso: establecimiento de servidumbres y áreas específicas de trabajo.

5.4.1.5. ***Obra civil***

La ejecución de estaciones puede englobarse en tres grandes capítulos: estaciones a nivel (en superficie, en trinchera o no), estaciones elevadas (en viaducto) o estaciones subterráneas.

Estaciones en superficie

Básicamente, este tipo de estaciones no tienen mucha complejidad más allá de la construcción en sí misma de la infraestructura ferroviaria (vías, sistemas de electrificación, etc.) y de la(s) edificación(es) que dan cobertura, yendo desde las más simplistas- con una pequeña marquesina por cada uno de los andenes existentes- hasta las más complejas, con la creación de construcciones emblemáticas sobre la estación.

Esta última parte suele reservarse a lugares de cierta importancia: zonas de intercambio con otros medios de transporte, edificios multifuncionales que engloban centros comerciales, con sistemas de transporte, complejos estudiantiles masivos, entre otros.

Aquellas estaciones con altas frecuencias, en climas “favorables” suelen ser bastante simplistas. En climas más agresivos, hay que recurrir a espacios cerrados que permitan una interconexión cómoda y segura con cada uno de los andenes y zonas de la estación.

Estaciones elevadas

Las estaciones elevadas, o en viaducto, suelen darse cuando no hay disponibilidad de espacio en la rasante; la solución subterránea presenta inconvenientes técnicos, económicos o sensibles para la comunidad (restos arqueológicos, por ejemplo); en los casos en que se quiere adaptar a otros modos de transporte superficiales; o bien cuando se quiere formar parte de edificios emblemáticos con otro tipo de servicios.

En este tipo de estaciones hay que tener presente la ubicación de accesos, pasillos y escaleras, sistemas de transporte vertical mecanizado, etc.

Las soluciones prefabricadas suelen ser las más utilizadas, dejando ejecución in situ para temas “accesorios de la estación”, como pueden ser pantallas de ascensores, escaleras de acceso, etc. No obstante, la definición o combinación de la metodología constructiva a utilizar dependerá de los elementos arquitectónicos, funcionales y ambientales involucradas en la estación.

La secuencia constructiva general de las estaciones elevadas obliga a intervenir un área importante de la infraestructura superficial existente, debido tanto a su envergadura física (aérea), como a los criterios de diseño.

Estaciones Subterráneas

Pueden distinguirse dos grandes grupos de estaciones: creadas y construidas a cielo abierto, o en caverna (minería).

Respecto a las primeras, y en función de la tipología, pueden construirse:

- Entre pantallas de pilotes de hormigón, con pilotes secantes o no, en función de los condicionantes del terreno; o entre pantallas de hormigón, propiamente dichas, para tratar de hacer lo más estanca posible la estación en cuestión.
- Ejecutada por fases: en caso de tener que realizar desvíos de tráfico o de cualquier otro tipo de servicio.
- *Cut and cover*: procedimiento de ejecución de pantallas y losa de hormigón, pudiendo ser ejecutada inicialmente al realizar la excavación al abrigo de la misma, o bien, ejecutada al final, mediante la utilización de cimbra, prelosas colaborantes, vigas prefabricadas de hormigón, etc. Este último caso suele utilizarse en caso de que la estación quiera ser usada como pozo de ataque de la tuneladora.
- Estaciones en caverna: ejecutada por el Método Alemán o por Método Austriaco modificado.

En este caso, es muy relevante la identificación del método adecuado a todos los condicionantes existentes.

Las principales recomendaciones son:

Realización de análisis geológicos-geotécnicos e identificación de servicios existentes en la zona; localización de posibles yacimientos arqueológicos y paleontológicos, forma de tratarlos, y detección de impactos sobre la ejecución de la estación; identificación, control y seguimiento de edificaciones colindantes, elementos de protección y de sistemas de auscultación.

a) ***Construcción Cut and Cover:***

La ejecución consta de las siguientes fases:

- Ejecución de muros laterales.
- Excavación entre muros hasta cota de losa superior y ejecución de la misma.
- Reposición de uso en superficie y excavación bajo losa.
- Ejecución de contrabóveda.

El sistema admite múltiples variantes en función de la tipología de la losa superior, el momento de reposición del uso preexistente en superficie, la necesidad de ejecutar losas o apuntalamientos intermedios, etc.

Construcción de muros pantallas:

Se trata de la ejecución convencional de pantallas con las operaciones previas de muro guía para excavación de las mismas, excavación con o sin fluido estabilizante (lodos o polímeros), colocación de armadura y hormigonado. Las pantallas suelen ser de 0,60 m a 1,20 m de espesor, y las profundidades normalmente varían entre los 10 y 30 m. Puede considerarse también la opción de pilotes separados (en ausencia de agua) o de pilotes secantes.

Excavación entre pantallas:

Se excava el terreno hasta el nivel de bóveda o losa superior, disponiendo codales provisionales en caso necesario. Dependiendo del espesor de rellenos, se dispondrá una losa plana o una bóveda propiamente dicha.

Construcción de la bóveda y relleno:

La fase se inicia picando la pantalla para empotrar la bóveda o losa plana en ella. La bóveda puede construirse sobre el propio terreno, o bien mediante un encofrado que se apoya en el suelo, lo que requiere que la excavación sea algo mayor.

Una vez construida la bóveda e impermeabilizada, se rellena sobre la misma y se restituye la superficie a su estado original. Esta acción ejerce un acodalamiento sobre las pantallas, similar a la de los codales, lo que permite seguir ejecutando la estructura.

Excavación bajo cubierta y realización de contrabóveda:

La excavación de la sección del túnel se realiza al amparo de la bóveda o losa, desde el propio túnel, lo que obliga a extraer las tierras mediante una rampa o pozo. Se excava hasta el nivel de contrabóveda y se ejecuta ésta, empotrándola a las pantallas.

Aunque es poco habitual, en ocasiones (carga de agua importante) debe colocarse un nivel de arriostramiento entre la bóveda y contrabóveda, que dificulta las condiciones de trabajo y debe ser retirado una vez ejecutada la contrabóveda.

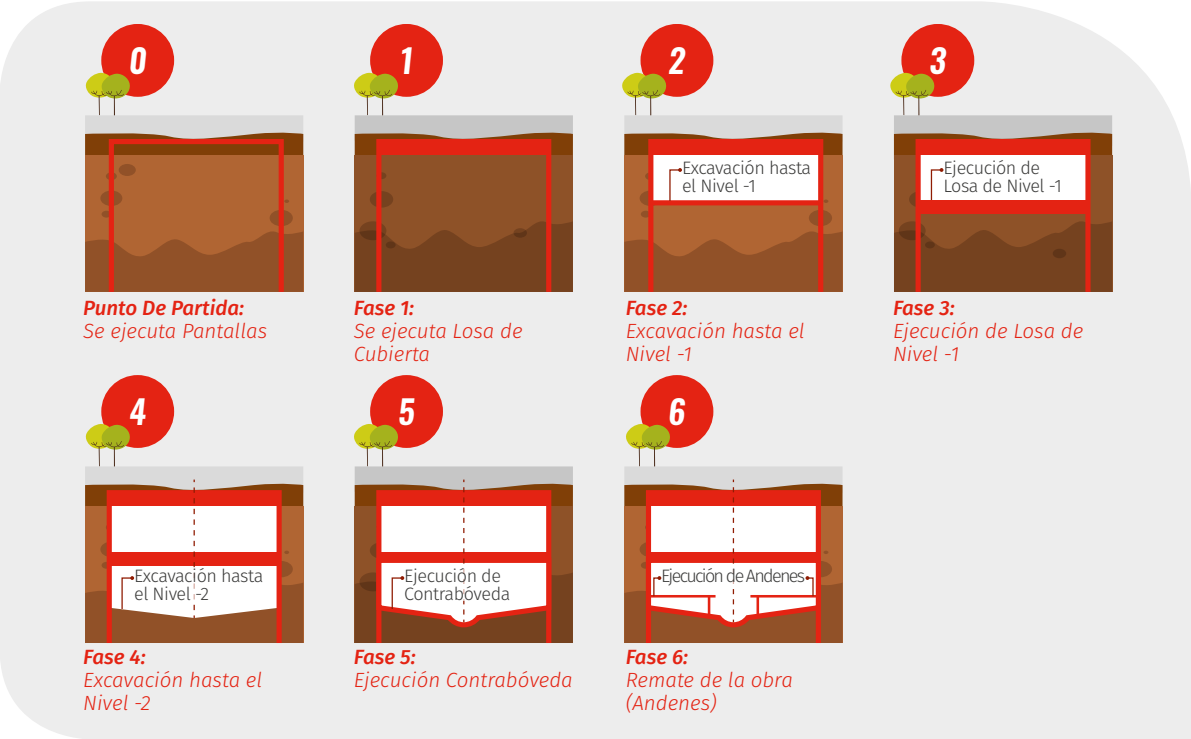
Algunas puntualizaciones:

- En las estaciones, para dar cabida a andenes y cuartos, es necesaria una luz mayor. Esto conlleva la necesidad de apoyos intermedios para las losas, generalmente en forma de pilas-pilote.
- La losa superior puede ser hormigonada in situ o de vigas prefabricadas.
- Es necesario crear un nivel intermedio (nivel de vestíbulo) en el que se sitúan los elementos de adquisición y cancelación de billetes. Esto implica la inserción de una losa intermedia entre losa superior y contrabóveda.
- Esta losa intermedia puede hacerse apoyada en el terreno (conectándose a las pilas-pilote), con cimbra apoyada en la contrabóveda, o colgada de la losa superior (postensada).

De una forma general, el método podría resumirse en las fases de la Figura 5.32.

Figura 5.32

"Fases del proceso *Cut and Cover*"



Fuente: Metro de Madrid.

b) *Construcción en caverna:*

En zonas de alta densidad de población puede ser necesario hacer la estación bajo tierra, por lo cual deberemos plantear una caverna de gran dimensión (18,00m de ancho libre), con la tapada de suelos necesaria para permitir la excavación sin interferir en el tránsito y en las existentes en la parte superior de la caverna.

Estos métodos han resultado útiles en zonas donde es imposible cortar el tránsito, el traslado de interferencias, o en lugares donde no hay grandes terrenos disponibles a los costados del emplazamiento de las obras, que permitan la apertura de un gran pozo de ataque para la construcción y el posible emplazamiento bajo tierra del acceso a la estación.

Por ejemplo, las tapadas de suelos en Buenos Aires, Argentina, están en el orden de un mínimo de los 5,00 m. Esto está estrictamente vinculado a la competencia del suelo donde se proyecta la estación en caverna.

Son estaciones que se desarrollan con métodos de tunelería, avanzando con un frente de excavación escalonado de la parte superior (calota) hacia la inferior (solera), con avances no mayores a 1,00 m, revestimiento primario (gunita) en largos no mayores a 20 m, y se completa el cierre del túnel con la solera para asegurar la estabilidad de la excavación.

El acceso a este tipo de obra es por rampas de importante longitud, emplazadas en calles laterales que soportan el corte parcial de la calle, o por pozos de ataque que sí implican reducciones temporales extensas y muy molestas para el paso de los vehículos en la misma avenida que se emplaza la caverna. Las rampas permiten el ingreso de grandes equipos individuales de excavación, camiones para la extracción de suelos, y la entrada y salida de materiales y personas.

Figura 5.33

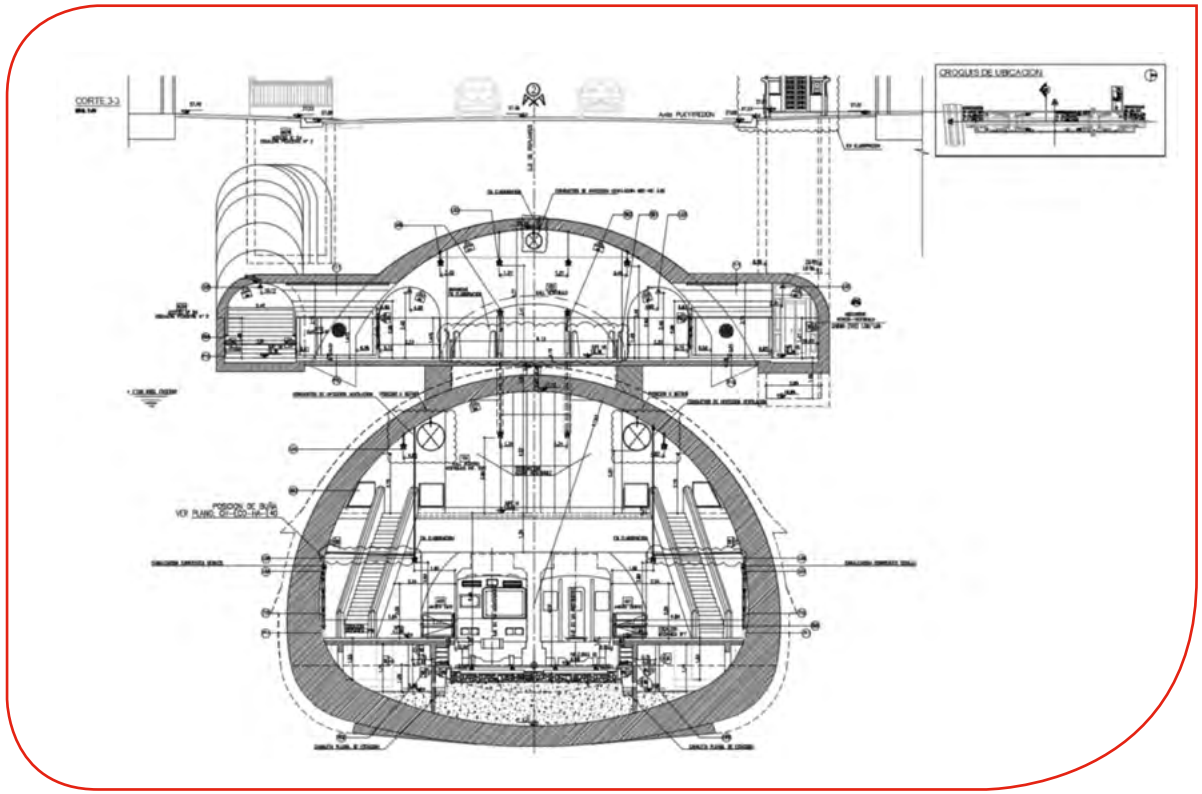
"Estación en caverna de la Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.34

"Corte de estación en caverna y vestíbulo construido bajo tierra con el método de tunelería, en la Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.





Este tipo de estaciones es imprescindible plantearlas en zonas de alta densidad de población, de tránsito, y donde no es posible reducir las zonas de paso de vehículos.

Es relevante que la capacidad portante del suelo permita la excavación de una gran caverna de 18m de luz libre, y de máximo 12m de alturas libre. Éstas, surgen de hacer formas circulares (arco) para utilizar las propiedades de auto-sostenimiento del suelo, y disminuir las cargas a trasladar por el sostenimiento primario.

Juega en contra- para estos procedimientos- la alta intervención en los suelos superiores de estas zonas, donde hay instalaciones de servicios públicos de importante tamaño y cantidad.

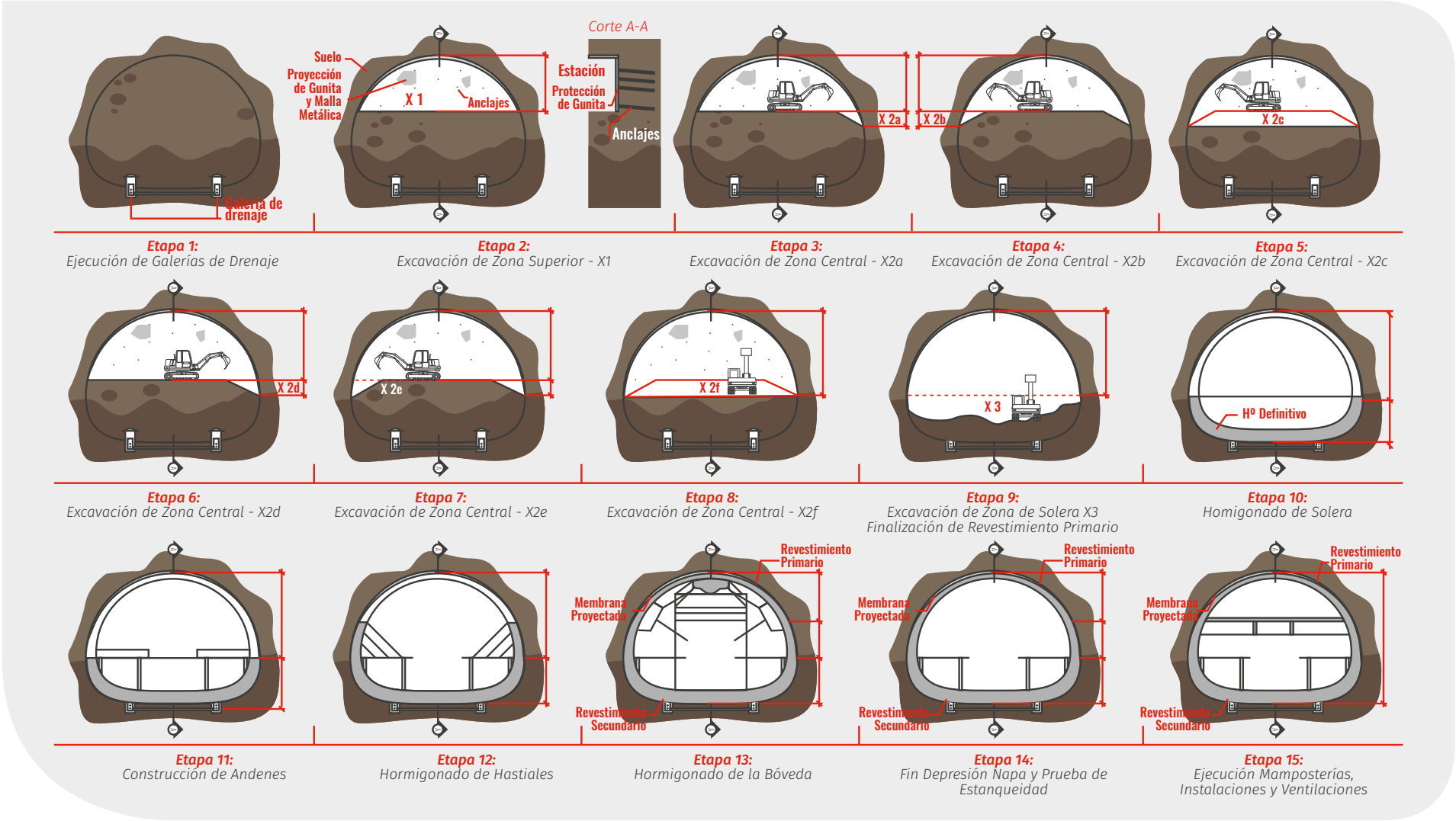
Con todo, debe tenerse en cuenta una serie de consideraciones:

- Utilizar este procedimiento en zonas de muy alta densidad de población, tránsito e interferencias.
- Los accesos suelen ser angostos en veredas, pero pueden ampliarse desarrollándolos en predios expropiados.
- Los suelos superiores de “tapada” deben tener un mínimo de 3 m de calidad competente.
- Para el sostenimiento secundario (revestimiento estructural de hormigón definitivo), se considera que la carga de suelo es completa por la posibilidad que en el futuro se construyan obras de servicios que lleven al corte del arco de suelos, que esté descargado a los laterales en el primer tiempo de su construcción.
- En el centro de la bóveda y estación, se debe prever un pase importante (10,00 m x 16,00 m) para el ingreso de personas. Esto obliga a la incorporación de gran densidad de armaduras de refuerzos de bóvedas que provocan los correspondientes inconvenientes en el llenado del hormigón, y sus consecuencias en la estanqueidad del sector. Las inyecciones son muy frecuentes.
- Por lo anterior, se pueden dejar inmersas cañerías especiales con agujeros para realizar- en una etapa posterior- las inyecciones con más profundidad.

Así, el resumen de etapas del método de construcción de estaciones en caverna, se puede observar en la Figura 5.35.

Figura 5.35

"Procedimiento constructivo de caverna Línea F y Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.36

"Vista lejana del escalonado de excavación con sostenimiento primario de Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.37

"Vista intermedia del escalonado de excavación con sostenimiento primario de Línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

5.4.2. ***Interestaciones***

Conforme a las consideraciones esgrimidas anteriormente, sabemos que el tipo de trazado de un proyecto ferroviario de transporte masivo de pasajeros puede definirse como a nivel (superficial), elevado (viaducto), o subterráneo, o cualquier combinación de estos tres tipos.

5.4.2.1. ***Plataformas a nivel***

En las plataformas a nivel se construyen las vías coincidentes, con terreno natural o apenas levantado del mismo, mediante terraplenes. Este tipo de cimentación se adopta en zonas sin población y con poco tráfico vial.

Estas construcciones son las más económicas, se recomiendan fuera de las zonas urbanas y que no interrumpan el tránsito de vehículos, en áreas no pobladas, y sin posibilidades de crecimiento según los instrumentos de regulación o planes de ordenamiento territorial.

Figura 5.38

"Plataformas a nivel interestación Los Presidentes- Quilín de línea 4 de Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

Por ejemplo, la ciudad de Buenos Aires tiene una red ferroviaria de más de 100 años, uniendo zonas de gran densidad de población con el centro. En sus inicios, los trayectos intermedios eran poco habitados y de bajo tránsito automotor. Hoy, ambas variables han aumentado considerablemente, generando barreras para las personas y vehículos.

Por ello, se ha planteado- en construcción bajo tierra- túneles bajo la misma traza de rieles, para disminuir el impacto en los cruces a nivel y permitir el aumento de frecuencias ferroviarias soterradas.

También, se está analizando eliminar las vías ferroviarias a nivel, y generar zonas verdes con alto valor urbanístico y rediseño de la ciudad.

5.4.2.2. ***Viaducto***

A pesar de lo declarado anteriormente, es necesario reconocer que- en zonas de baja o mediana densidad de población, o donde las condiciones del suelo son muy poco competentes- se puede optar por un transporte ferroviario en viaducto.

El nivel de vías debe ser en altura, de forma tal que la estructura que lo sostiene permita el libre paso de tránsito vehicular por debajo. Por ejemplo, para el Mercosur, se exige un gálibo de altura libre de 5,10 m.

Estos viaductos se basan en construcciones de:

- Fundaciones de columnas (pilotes, zapatas, etc.).
- Columnas.
- Cabezales.
- Vigas transversales y/o ménsulas en correspondencia con columnas, para apoyo de vigas longitudinales o dovelas.
- Vigas longitudinales entre columnas, o dovelas, en general premoldeadas, donde se apoyan el sistema ferroviario.

La construcción de viaductos generalmente implica menor tiempo y costo respecto a cualquier edificación en túnel. Sólo debe tenerse en cuenta las interferencias subterráneas donde se implantan los pilotes o fundaciones de columnas.

En cuanto a la sección de una interestación en viaducto, se destaca el monorriel, de una vía, y el bidireccional, de dos vías. En este último caso, la superestructura puede considerarse de varios tipos, tales como:

- Vigas maestras y losas postensadas.
- Vigas longitudinales (tipo puente).
- Dovelas doble U.
- Dovelas gran U.

En zonas de terrenos poco competentes, y/o en urbes con recursos limitados, la construcción de viaductos elevados es provechosa para mantener el uso de suelo en el nivel de terreno natural. Así, se recomienda para zonas de mediana densidad que cuenten con terrenos libres (con poca o nula existencia de edificaciones urbanas en su traza), que no sean afectadas en cuanto a la imagen urbana que proyectará, pues los pilotes pueden tornarse en "barreras visuales" imponentes y poco armónicas.

En cuanto a la ventaja del tiempo, los viaductos elevados son obras de muy rápida ejecución, siempre que se trabaje con fundaciones indirectas (pilotes y cabezales), columnas con ménsulas y contraménsulas, y viaductos premoldeados. Junto a ello, es importante detectar y establecer correctamente las transiciones donde se deba trabajar en trincheras o con taludes de tierra, en que las "barras visuales" y las de desplazamiento son mayores.

Figura 5.39

"Término de montaje de dovelas del viaducto elevado (frente centro) de línea 4 de Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

El diseño de líneas de metro en viaducto responde a numerosas variables que se deben resolver en la Ingeniería Básica y de Detalle del proyecto. A continuación, a modo de ejemplo, se presentarán algunas de las principales consideraciones en los criterios de diseño para el viaducto de la Línea 4 de Metro de Santiago[12].

12 Informe de Metro de Santiago. (s.f.). Ingeniería de detalle de obras civiles. ***Proyecto 1: Tramo B-C. Obras civiles viaducto Línea 4***. Santiago, Chile.

a) *Criterios de diseño estructural- viaducto*

Los elementos centrales corresponden al diseño de la superestructura, infraestructura y mecánica de suelos.

a.1) *Superestructura:*

La conforman tramos de distintas longitudes. Los trechos están compuestos de dovelas prefabricadas (de columna y tramos), ensambladas en sitio por postensado longitudinal y transversal de los bloques de columnas.

Los elementos indispensables a considerar son:

- Geometría en Recta (o R ≥ 2500 m).
- Geometría en curvas (R = 388,15 m).
- Cargas:
  - Permanentes y del tren.
  - De servicio sobre las vías de evacuación.
  - Horizontales de los vehículos.
  - Interacción riel- estructura.
  - Cargas de viento.
- Materialidad (hormigón pretensado, acero para pretensado, acero pasivo).
- Combinación de carga.
- Verificación de tensiones de pretensado según AASHTO 9.15.2.2.
- Desplazamiento por la acción de las cargas vivas:
  - Deflexión y aceleración vertical.
  - Alabeo por torsión.
  - Desplazamiento horizontal debido a la carga vertical.
- Análisis dinámico del tablero con las cargas vivas.
- Gálibos.

a.2) *Infraestructura*

Está formada por i) columnas circulares huecas; ii) capiteles de estaciones e interestaciones; y iii) fundaciones (tipo pila de sección rectangular y tipo zapata). Sobre los segundos, se deberá diseñar una viga transversal postensada que recibirá la viga de acero bajo andén, en el tramo de estación elevada.

Para el diseño de la infraestructura, es necesario definir parámetros básicos, tales como:

- Longitud de tramos (vanos) de interestación.
- Longitudes de tramos de estación.
- Radios de curvatura mínimos en viaducto.
- Altura de viaducto (a cota riel).
- Forma geométrica de columnas.
- Tipología de capiteles.
- Tipología de fundaciones.

a.3) *Mecánica de suelos*

Tanto los antecedentes geotécnicos necesarios para el diseño de las fundaciones, como aquellos a utilizar en los modelos de elementos finitos (valores de coeficiente de balasto), deben estar definidos previamente en los informes de mecánica de suelos, a fin de definir los tipos de fundaciones (por ejemplo: tipo pila, tipo zapata).

5.4.2.3. ***Túneles***

En zonas de muy alta densidad de población, donde además está densamente construido y el transporte público está colapsado, la única posibilidad de procedimiento constructivo es en túnel.

Lo principal a entender es que las condiciones de suelo deben permitir este tipo de construcción, tanto con métodos manuales, como mecánicos; que no afecten a las edificaciones existentes; y se coordinen con éstas (existentes y futuras).

Es imprescindible plantear obras subterráneas en zonas de alta densidad de población y de construcción, para evitar la interacción con el tránsito vehicular, el impacto visual en la urbanización, y lograr un transporte rápido y eficiente de millones de personas diariamente. La gran ventaja, es la libre circulación sin la intersección de otro medio de movilidad y del tránsito de personas.

Para este tipo de sistema constructivo debe tenerse presente:

- Amplio conocimiento de las características del suelo, como su geología.
- Acabado estudio de las instalaciones de infraestructura urbanas subterráneas presentes y futuras.
- Vasta noción de las fundaciones de los edificios existentes.
- Condicionamiento de construcciones futuras.
- Conocimiento de áreas arqueológicas y paleontológicas.
- Aprovechar el conocimiento obtenido de construcciones similares en la zona y en el exterior en situaciones similares.

5.4.2.3.1. ***Procedimientos manuales (sin tuneladora)***

Para los procedimientos de construcción manual sin tuneladora, existen diferentes métodos:

a) *Austríaco Modificado.*

b) *Alemán.*

c) *Belga.*

Estos métodos se denominan "manuales", porque no se usa la tuneladora. Sin embargo, se construyen utilizando maquinaria pesada y liviana. Esas herramientas pueden ser palas mecánicas, retroexcavadoras, martillos, neumáticos, máquina fresadora, volquetas.

a) *Método Austriaco Modificado*

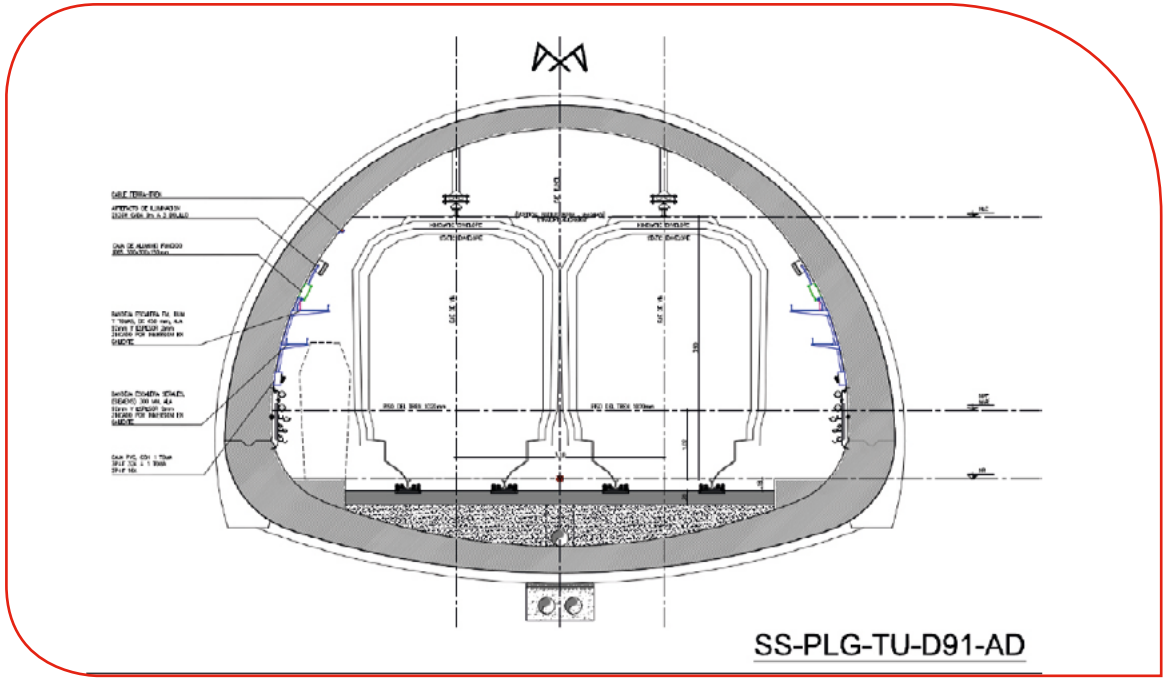
Una sección típica de túnel terminado con éste método es la que se muestra en la figura siguiente:

Este método es el más típicamente utilizado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina, y consiste en aprovechar al máximo la capacidad de resistencia del suelo.

Así, se avanza a frente semicompleto, de 1 m a 2 m., según la capacidad del frente del suelo y de su tapada.

Figura 5.40

"Encofrado túnel de dos vías con las previsiones de instalaciones necesarias en la traza del túnel. Sección típica ST2. Método Austríaco Modificado en la futura Línea F de Subterráneos de Buenos Aires"



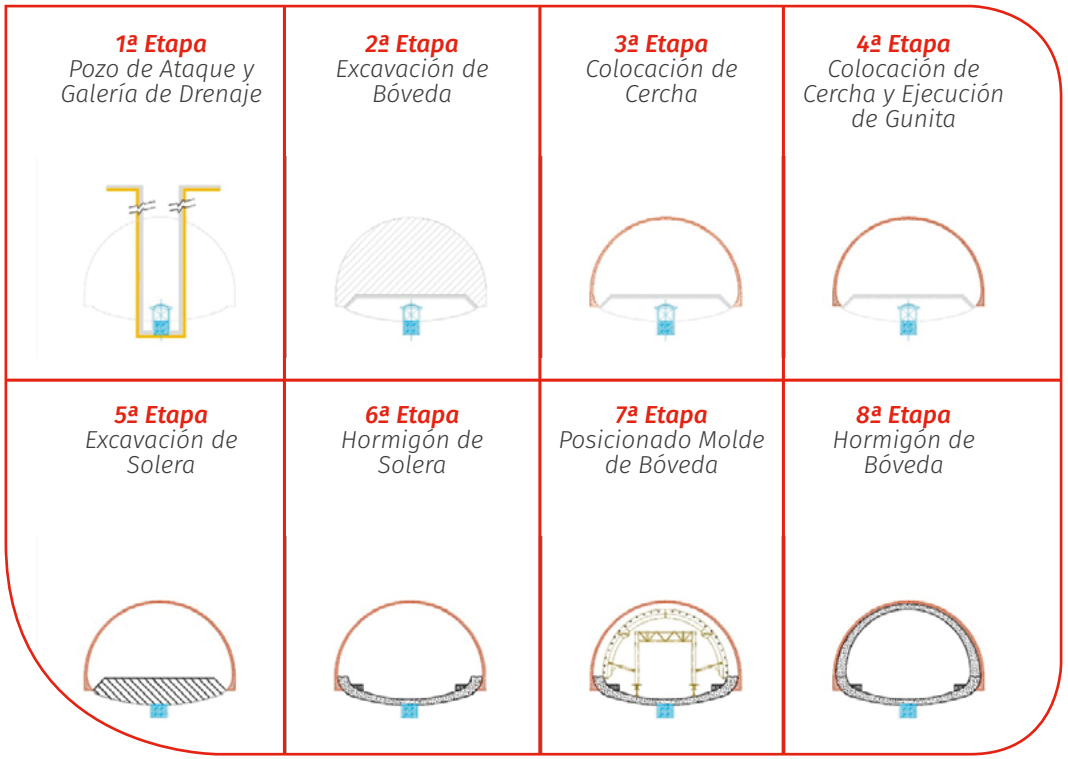
Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

La excavación es con retroexcavadora, mientras que el primario resistente es con proyectado de hormigón de alta resistencia inicial, con cerchas metálicas. Luego, se excava la solera, se arma y hormigona, para después encajar el molde y volver a hormigonar, desde abajo, el hastial y la bóveda del túnel. Es conveniente mantener la forma circular, para evitar el posicionado de armaduras, controlar el hormigón, y lograr la menor figuración del mismo. Las juntas de hormigonado son cada 3 m. a 4 m.

Las etapas de este método se muestran en la figura 5.41:

Figura 5.41

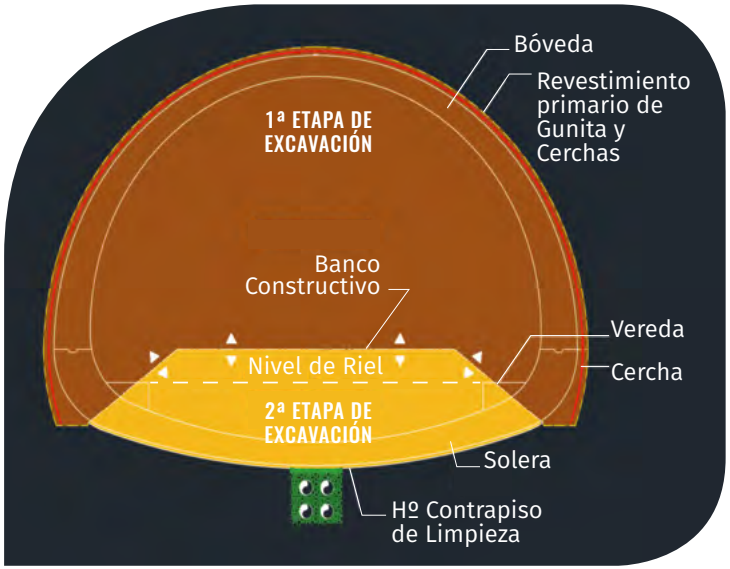
"Metodología constructiva de túnel de dos vías con el modelo Austríaco Modificado, línea H Norte de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.42

"Corte de etapa constructiva de túnel de dos vías con el Método Austríaco Modificado, línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Para este tipo de construcción, es necesario tener en cuenta la salida y entrada de materiales, entre los cuales se encuentra el retiro del material de excavación.

b) *Método Alemán*

El Método Alemán se basa en reducir al máximo la sección de excavación abierta, hormigonando lo más rápidamente posible la zona intervenida. De esta forma, se minimiza el tiempo en que está cargado el sostenimiento y, en consecuencia, se controlan las deformaciones.

Figura 5.43

"Hormigonado de bóveda con el Método Austríaco Modificado, línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



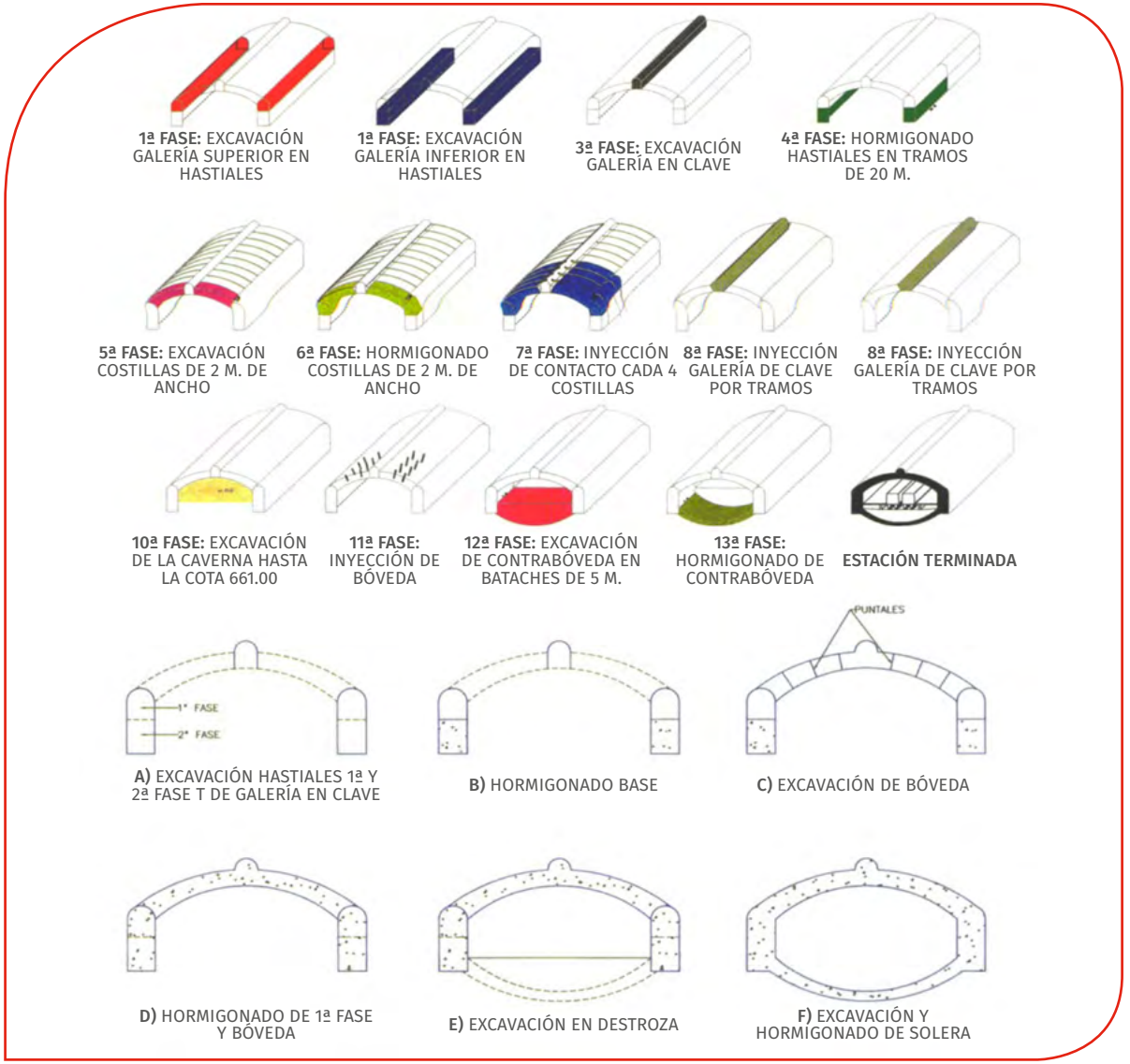
Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Las fases de ejecución son las siguientes:

- Excavación de galerías en hastiales y clave.
- Hormigonado de la semisección del hastial.
- Excavación y hormigonado de las galerías transversales de bóveda, así como de la clave y mitad superior del hastial.
- Excavación en vaciado del interior de la sección.
- Ejecución de la contrabóveda por tramos.

Figura 5.44

"Fases constructivas del Método Alemán"



Fuente: Metro de Madrid.

Este método consiste en la ejecución, en primer lugar, de los hastiales. Apoyado en ellos se ejecuta la bóveda, para finalizar con la destroza central y la contrabóveda. Es decir, se inicia la excavación mediante dos galerías en los hastiales del revestimiento. Seguidamente, se excava una galería en clave y se ensancha, hormigonando la bóveda que queda bien apoyada en los hastiales. Finalmente, se excava el centro de la sección.

Este método se suele utilizar cuando no es válido el Método Belga, debido a que los bataches del terreno, situados en los hastiales, no soportan la carga de la bóveda, ya sea por la gran luz de ésta o por la calidad mediana del terreno. Al tener tres galerías en lugar de una, exige un plazo y un costo mayor que el Modelo Belga.

Ejecución de las galerías laterales

Se inicia el ataque desde un pozo, túnel o rampa de acceso, mediante la apertura de dos galerías laterales- que serán los hastiales de la excavación- y una galería en la clave (2.00 x 1.50 m) del futuro túnel o estación.

La excavación de las galerías de hastiales se suele dividir en dos fases: en primer lugar, se ejecutan las superiores; y, enseguida, las galerías inferiores. Asimismo, su forma suele ser de hastiales rectos (2.50 m x 2.50 m) con la parte superior abovedada.

Estas galerías se excavan hasta el final, y se las sostiene mediante cerchas de vigas metálicas de sección TH y entibación de madera, similar al utilizado en el Método Belga.

En túneles cortos, el hormigón de los hastiales puede macizar por completo las galerías hechas inicialmente, debiendo hormigonarse en retirada, tras finalizar la cavada de toda la longitud. Ello obliga a alargar ligeramente el plazo, y tiene la ventaja de reducir el tamaño de dichas galerías al mínimo estricto. En excavaciones altas o esbeltas, el corredor de cada hastial debe descomponerse en dos (o más) sucesivos, cada uno encima del anterior, para completar la parte vertical del revestimiento, antes de proceder a la perforación de la zona de la bóveda.

Hormigonado de la semisección de hastial

Desde el fondo de las galerías laterales se procede a la excavación y hormigonado de la semisección del hastial, mediante pozos de 2.50 m de profundidad y 5 m de longitud, prosiguiendo hasta el inicio de las galerías.

Excavación y hormigonado de la bóveda y hastiales

A partir de cada una de las galerías de hastiales, circulando sobre la sección hormigonada, se realiza una galería transversal, con la forma de la directriz de la bóveda de la cavernaque conecta con la galería de clave y de una dimensión de 2 a 3 m de ancho y 1.50 m de altura. El sostenimiento de esta galería transversal está compuesto por longarinas metálicas y tablas.

Una vez terminada la galería transversal y desde la galería de clave, se procede al hormigonado de estas "costillas" laterales, junto con la semisección de las galerías de hastiales y la propia galería de clave.

Sucesivamente, desde el fondo de la excavación hacia el inicio, se van perforando y hormigonando las galerías transversales, hasta tener totalmente enterrada la estructura de bóveda y hastiales de la caverna.

Excavación de la caverna y hormigonado de la contrabóveda

Una vez completadas las costillas, se procede a excavar la caverna desde el propio túnel, y a realizar la contrabóveda por tramos de 10 a 20 m de longitud, obteniéndose una obra subterránea de 12 a 20 m de luz, sin la necesidad de realizar excavaciones de galerías superiores a 3 m de luz.

c) *Método Belga*

El Método Belga, o Método Tradicional de Madrid, es un sistema constructivo de túneles con entibación integral para terrenos blandos (suelos) de baja estabilidad, los cuales no permiten mantener áreas desguarnecidas después de excavadas. Este es el caso de la obra en estudio, donde el terreno atravesado consiste en rellenos, arenas de miga, arenas tosquizas, toscos arenosos, tosco y peñuelas, con o sin nivel freático.

Este tipo de construcción, en resumen, consiste en la excavación de la parte alta de la bóveda en pequeños tramos, como primera fase y posterior excavación de la destroza central, hastiales y contrabóveda.

Figuras 5.45

"Excavación de túnel en línea 4 de Metro de Santiago"



Fuente: ALAMYS.

La filosofía del método radica en la ejecución de pequeñas excavaciones, que se van inmediatamente entibando a la vez que se van abriendo, de tal manera que quedan abiertos durante un espacio de tiempo muy corto. Así, se evitan cambios de humedad y cohesión, que pueden dar lugar a una redistribución de tensiones que ocasionen el colapso del terreno. Una vez terminada cada fase de excavación, se procede a su hormigonado de manera inmediata.

El proceso, pues, consta de varias fases que se van realizando sucesivamente, construyendo primeramente la media sección superior y, posteriormente, el resto. Las fases, que se aprecian en la figura 5.46, son:

c.1) *Sección de avance: bóveda.*

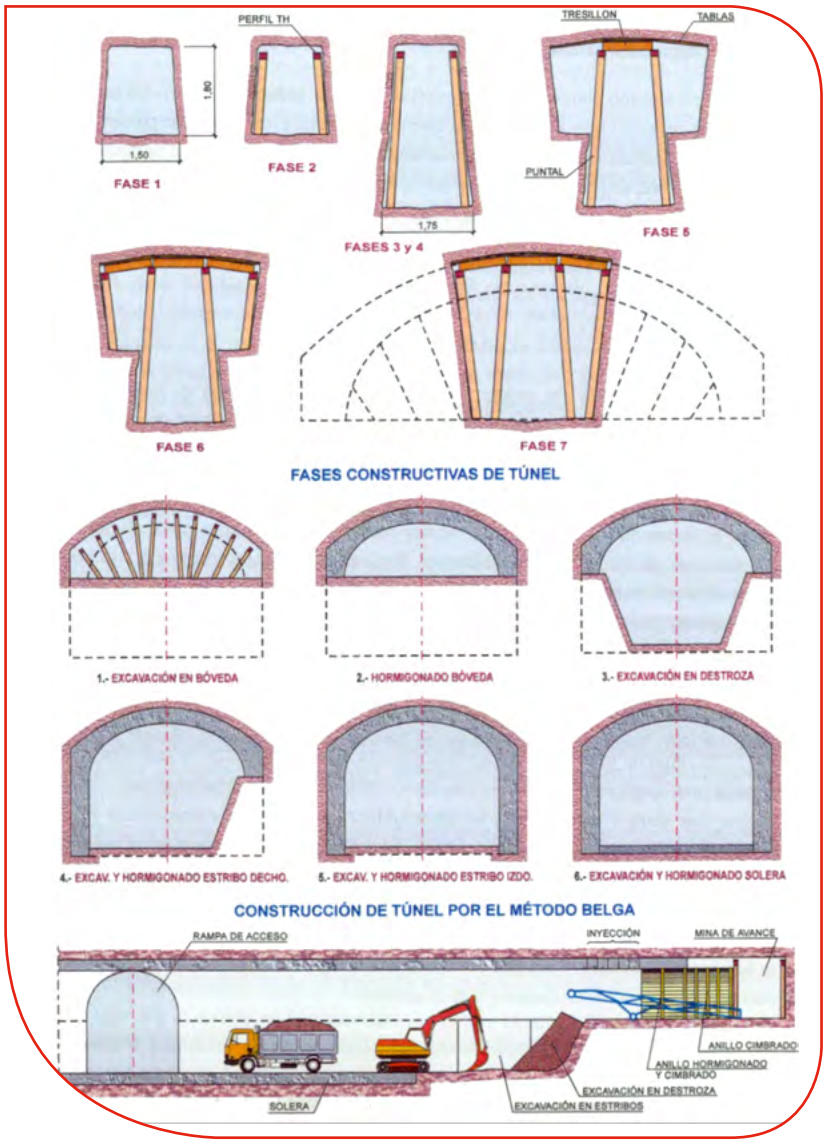
c.2) *Destroza central.*

c.3) *Hastiales.*

c.4) *Solera o contrabóveda.*

Figura 5.46

"Fases constructivas de bóveda"



Fuente: Metro de Madrid.

c.1) *Sección de avance: bóveda*

La excavación comienza por la galería central de avance o "mina". Es la parte más difícil de perforar, y sólo cabe un operario picando y un ayudante paleando el terreno. En la práctica, y cuando lo admite el terreno (estabilidad, presencia de agua), se procura ensanchar hacia los laterales, antes de llegar al final de la excavación de la citada galería de avance.

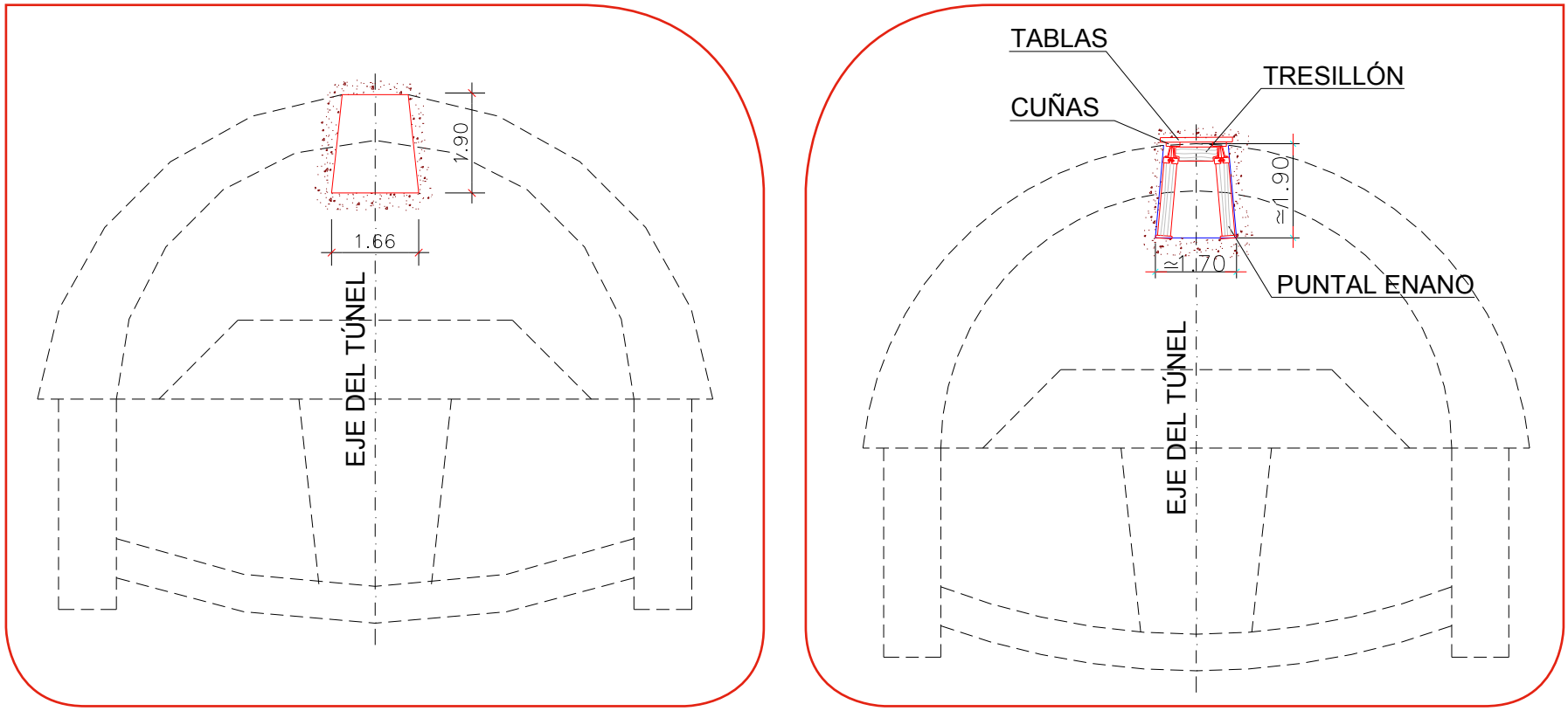
Una vez ejecutada la galería de avance, se efectúan las sucesivas fases de ensanche lateral, concluyendo con los apoyos extremos de la bóveda. Toda la excavación se realiza manualmente.

Las dimensiones del avance deben ser tales que permitan el hormigonado completo de la bóveda, acceso, y el paso del peatonal, con la condición que sea lo más pequeña posible, con objeto de realizar a mano la menor sección posible de excavación.

El desescombro del frente se realiza mediante una pequeña cinta, alimentada paleando manualmente, que es fácilmente desplazable y que descarga en otra cinta mayor. Esta última transporta el material hasta el desnivel que marca la excavación de la destroza. La retroexcavadora retira periódicamente el material del montón, acopiando a través de cinta en la contrabóveda. Los materiales se

Figuras 5.47 y 5.48

"Fase Inicial", "Sujección fase inicial"



Fuente: Metro de Madrid.

transportan a vertedero en camiones, cargados directamente a través de la cinta, o por medio de una tolva.

El ritmo de trabajo lo impone esta primera fase, no debiendo estar limitada por ninguna otra operación.

El acceso al frente y desescombrado se puede realizar de dos modos: por pozo y por rampa. La primera, es por lejos mejor y más aconsejable que la segunda, aunque su único inconveniente es la mayor ocupación de terreno. La limpieza no debe interferir en la marcha de excavación del túnel.

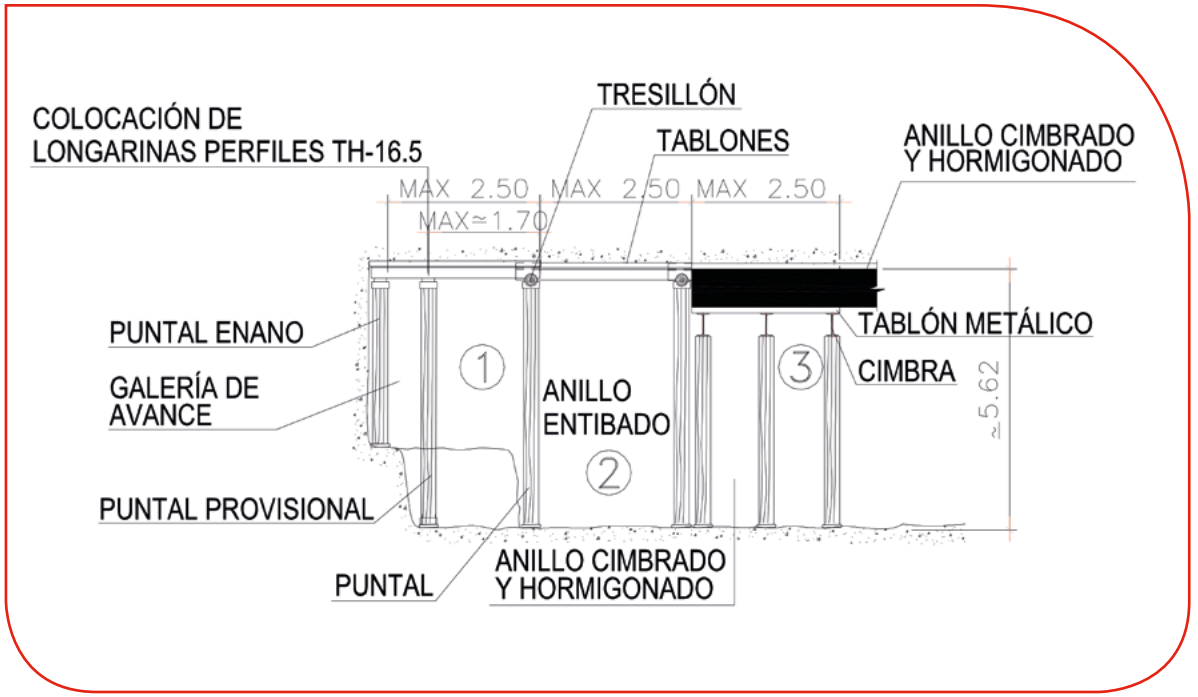
En el caso de la extracción por pozo, todo es descargado a través de un vehículo *dumper*, en pequeños contenedores o vagonetas que son izados mediante grúas, polipastos o *skip*, siendo preferible éste último.

La mina de avance, en tanto, se inicia con la excavación de una galería de apenas 1 m de anchura en el eje del túnel y en la clave de la sección, con entibación continua de tabla de eucalipto de 1.50 m de largo por 0.25 m de ancho y 0.025 m de espesor. Las tablas se van colocando a medida que avanza la perforación, apoyadas en el propio terreno forrando la parte superior de la mina, lo que supone una alteración mínima del terreno.

Una vez concluida la cantera en toda su longitud del avance (entre 1.50 m y 2.50 m según el terreno), se colocan las longarinas: perfiles metálicos TH que servirán de apoyo a las tablas, y que se disponen longitudinalmente al túnel y separados un metro.

Figura 5.49

"Mina de avance: proceso de excavación de la galería"



Fuente: Metro de Madrid.

Entre las tablas y la longarina se colocan unos tablones corridos haciendo de aparente apoyo, de tal manera que- separando éstos con calas para dejar espacio suficiente a las tablas- se consigue situar la entibación en los pases laterales siguientes. Este tablón corrido se denomina “falso”.

Las longarinas tienen de 3.0 a 3.5 m de extensión (en función de la longitud de avance), y se apoyan en pies derechos de rollizos de álamo negro en sus extremos; mientras que, en el centro, se afirman de 1.50 m de altura inicial dentro de la mina, y de 2.5m en la zona donde se ha producido el ensanche. Entre las dos longarinas se ponen elementos de separación o estampidores, llamados tresillones, que son de madera.

Una vez finalizada la mina de avance, se comienza a abrir la excavación a ambos lados de ésta en pases, numerándose estos en: primeros, segundos, terceros, etc., según se van alejando de la mina de avance.

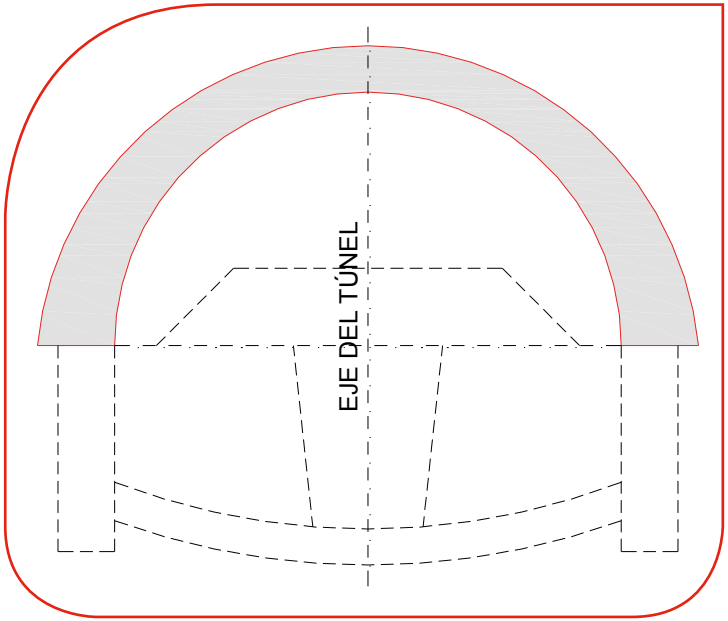
La ejecución de los pases se realiza de forma análoga, pasando las tablas de entibación a través del “falso” y acuñadas contra la longarina ya colocada. En el otro extremo, las tablas se apoyan en el terreno hasta que se finaliza la excavación y el primer pase, y se coloca la longarina siguiente con su “falso”, que permitirá pasar a su vez las tablas del segundo pase y así sucesivamente. Con todo, se configura una partición de la sección, en secciones de 3 m^2 con un sostenimiento unido transversalmente.

El túnel de vía doble de metro se suele realizar con cuatro pases a cada lado y, si el terreno es excepcionalmente bueno, se reducen a tres, a costa de separar algo más las longarinas. Con el fin que los pies derechos no se claven en el terreno debido a la carga que les transmite, se suele colocar una o varias calas de tablón como apoyo. Asimismo, en cabeza se les zuncha una pieza de perfil TH para garantizar el apoyo de la longarina.

Inmediatamente después de ejecutada la excavación, se procede al encofrado y hormigonado de la sección de bóveda para

Figura 5.50

“Tratamiento del terreno”



Fuente: Metro de Madrid.

impedir la deformación del terreno, otorgando al sostenimiento la labor de contener la deformación instantánea del mismo. La entibación continua permite soportar las cargas que transmiten terrenos sueltos con potencia, de hasta 1.5 m, impidiendo la deformación gradual de los suelos más estables que pudieran existir sobre ellos.

El método aporta una gran versatilidad, ya que se pueden modificar los parámetros básicos para hacer frente a cualquier imprevisto que pueda proporcionar el terreno:

- Ancho de pase: 1 a 1.50 m.
- Longitud de avance: 1 a 2.50 m.
- Densidad de entibación y del apuntalamiento.

Además de estos parámetros básicos modificables, en caso de fuerte inestabilidad del frente de excavación (por presencia abundante de agua, por ejemplo), existe otro recurso: el tratamiento del terreno.

Normalmente, el encofrado y hormigonado del avance se realiza por el mismo equipo que ha realizado la excavación. Al quedar el equipo sobredimensioanado, se aprovecha para realizar trabajos de limpieza y preparación de las actividades siguientes.

Para hormigonar, es necesario disponer de juegos de encofrado para tres avances, desencofrando así cuando ya tiene suficiente madurez.

El encofrado puede ser metálico continuo, trasladado por carro, o a base de cerchas metálicas atornillas, que soportan chapas de encofrado.

El hormigonado se realiza desde la clave con empleo de bomba. La manguera final de la tubería se conecta con un manguito fijado en el encofrado, donde se dispone el dispositivo de conexión rápido, así como la oportuna boca con tajadera, con objeto de que- al desenchufar la manguera- se accione previamente la tajadera para impedir que se salga el hormigón del molde.

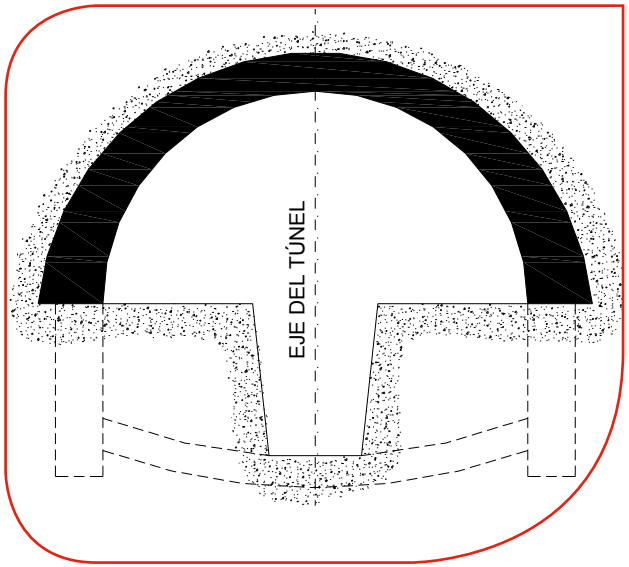
c.2) *Destroza central*

Una vez hormigonada la bóveda, y con un desfase de unos 5 o 6 anillos, se comienza la destroza, consistente en excavar una caja central dejando un resguardo del orden de 1 a 1.50 m en los hastiales, para que los empujes que la bóveda transmita al terreno- que sirve de apoyo- no formen planos de rotura peligrosos que pudieran dar origen a asentamientos y rotura de la misma.

Esta operación se realiza con máquina excavadora y, además, en ella se retiran las tierras procedentes de la construcción de la bóveda que vierten en la destroza, a través de una o varias cintas transportadoras.

Figura 5.51

"Destroza central"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

c.3) *Hastiales*

Finalizada la destroza, se ejecutarán los hastiales por bataches al tresbolillo. Cada batache abarca dos semianillos, con el objeto de no descalzar ningún anillo de la misma.

Su excavación se realiza con la misma máquina que la destroza, y se refina posteriormente a mano. La entibación suele ser ligera y poco cuajada.

Figura 5.52

"Hastiales de línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Se excavan módulos de 2.50 m, al igual que los anillos, con dos precauciones:

- La junta de los anillos debe caer aproximadamente en el centro del batache, con el fin de no descalzar la bóveda completamente.
- Nunca se excavan dos bataches enfrentados al mismo tiempo, por la razón anterior.

Esta operación- que parece tener poca importancia cuando el terreno es bueno- se puede complicar y llegar a ser una de las fases más comprometidas cuando existe abundancia de agua y el suelo tiene poca cohesión.

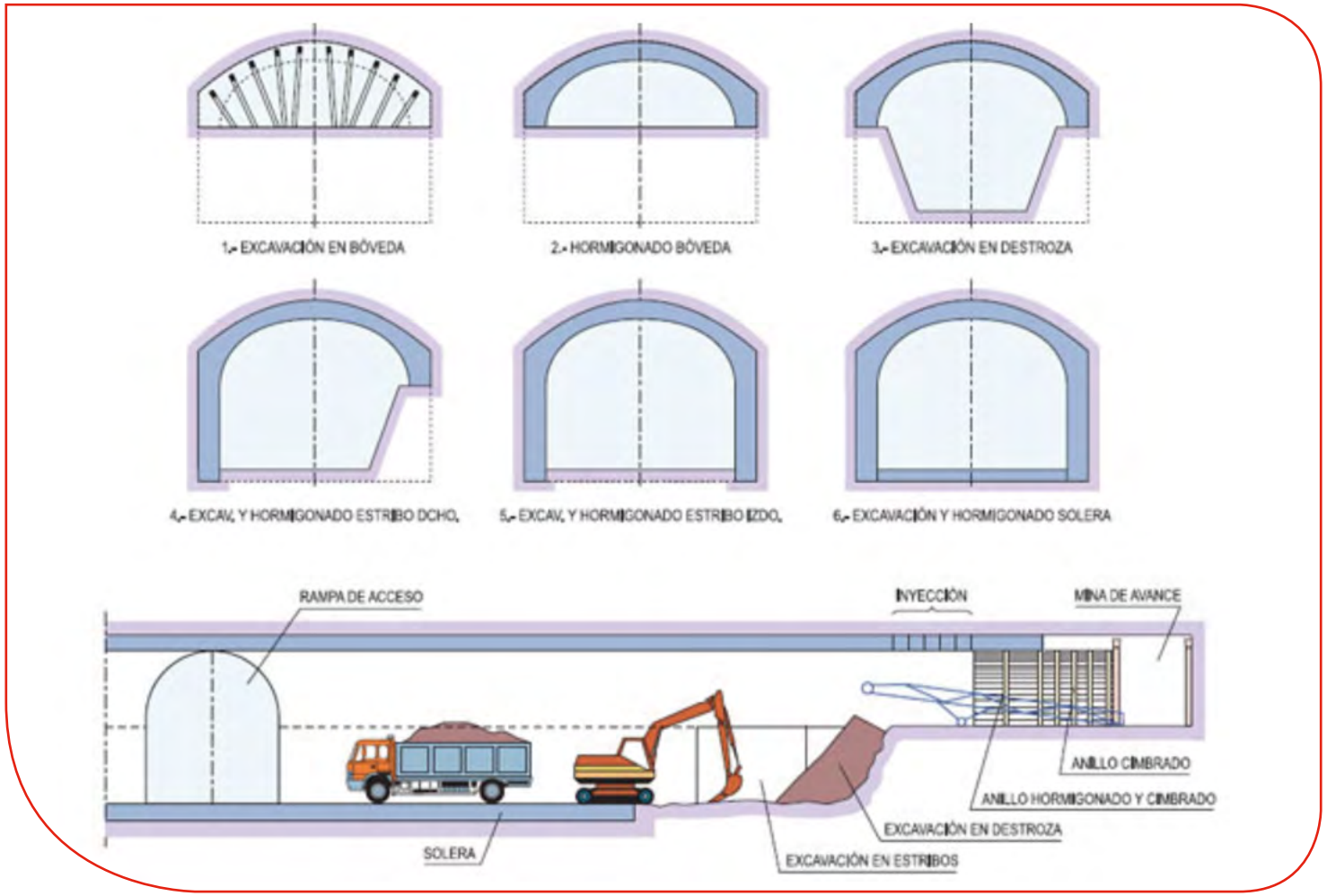
Enseguida- y tras la excavación-, se posiciona la ferralla, situando el encofrado a continuación. Éste, mediante módulos mecánicos, se sujeta en la bóveda ya hormigonada por su parte superior, para lo cual se han dejado previamente los elementos de amarre en el hormigón de la misma. En su parte inferior, se sujeta al terreno mediante picas clavadas en él.

A media altura, se dispone una ventana para poder hormigonar la parte inferior del hastial, seguir visualmente el proceso, y vibrar a mano- si fuera preciso- la parte inferior del hastial. Cuando se llega a esta ventana con el hormigón se cierra la misma, y se conecta la manguera de hormigonado a un manquito, que dispone de un dispositivo de enlace rápido, introduciéndose el hormigón en el mismo.

En los dos nervios del encofrado se disponen vibradores de superficie para la compactación del hormigón, sobre todo en esta última fase, que no se tiene acceso al interior del batache.

Figura 5.53

"Fases de ejecución del Método Belga en línea H de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Universitat Politécnica de Valencia en www.bing.com

c.4) *Solera o contrabóveda*

Se realiza la excavación correspondiente con máquina, en una longitud de 10 a 15 m (cinco anillos) para aprovechar los fines de semana. Se hormigona posteriormente con plantillas, para conseguir la forma de la sección tipo, en toda la luz o por mitades. Cuando el terreno presenta gran aporte de agua, se recurre a zanjas o pozos drenantes.

5.4.2.3.2. ***Método Cut & Cover con muro colado o pilotes***

El procedimiento más empleado en zona urbana, para ejecución de excavaciones entre pantallas, se denomina en inglés Cut and Cover. Éste consiste en realizar las pantallas laterales (muro colado o pilotes) del túnel. Posteriormente, hormigonar la losa superior y, finalmente, excavar por debajo de ésta. En construcciones urbanas, el proceso tiene una ventaja fundamental: permitir restituir el tráfico en superficie, mientras los trabajos continúan en el interior.

En general, la secuencia constructiva e la siguiente:

i) ***Construcción de muros pantallas***

Las pantallas suelen ser de hasta 1.20 m de espesor, y las profundidades varían entre los 10 m y 30 m aproximadamente. El proceso de ejecución es el siguiente:

- Construcción de dos muretes guía (mínimo 0,3 m por 0,5 m) que limiten el perímetro de la pantalla. El murete tiene la doble misión de guiar la cuchara y proteger el vértice de la excavación, que es la zona más precaria.
- Excavación de un panel o batache, soportando mediante lodo el empuje de las paredes. La longitud del batache oscila entre 2.5 m y 5 m, que será función de la estabilidad de las paredes. Para terrenos con riesgo de inestabilidad, conviene reducir la dimensión de los paneles al gálibo de la cuchara, 2.5 m. Otro factor que favorece a la estabilidad de las paredes es la agitación del lodo, que se hace imprescindible cuando el hormigonado del panel no se va a realizar inmediatamente.
- Colocación de sendas juntas en los extremos del batache. La estanqueidad entre paneles está encomendada a la junta que se dispone entre ellos, configurándose como el elemento básico para el correcto funcionamiento de la estructura, y también una discontinuidad a la que hay que prestar especial atención.
- Introducción en el batache de la armadura, que debe quedar colgada y no apoyada en el fondo. Ésta debe ser dimensionada para los sucesivos estados de carga que debe soportar la pantalla, en las distintas fases de la construcción. Cabe destacar que hay que prever la colocación de rigidizadores, atendiendo fundamentalmente al proceso de su transporte, izado y colocación en el interior de los bataches. Por último, indicar que los recubrimientos son superiores a los habituales, por la imprecisión al colocar la armadura dentro de la pantalla desde la superficie y la irregularidad del terreno tras la excavación, siendo frecuente emplear separadores de 8 a 10 cm.
- Hormigonado del batache desde abajo hacia arriba mediante un tubo-buzo. Las condiciones de hormigonado obligan a usar mezclas no habituales, utilizándose relaciones agua/cemento (0,6) con dosificaciones de cemento por encima de 300 kg/m3, con cono superior a 18 cm, y el diámetro máximo del árido inferior a 25 mm. La misión de emplear el tubo para el hormigonado es, en primer lugar, evitar la segregación de los componentes del mismo y, en segundo lugar, arrastrar hacia arriba los lodos y el detritus que haya podido quedar en el interior de la excavación.
- Extracción de las juntas cuando el hormigón haya alcanzado suficiente resistencia, con la precaución de que las juntan no se queden adheridas al hormigón.
- Repetición del proceso en los bataches siguientes.
- Arriostramiento de las cabezas de todos los paneles del muro pantalla que han quedado con las esperas de armadura preparadas para

tal fin, mediante un viga-riostra longitudinal que solidariza a todos ellos. Debe tenerse la precaución de picar para sanear el hormigón de la parte superior de las pantallas.

ii) ***Ejecución de una losa de cubierta***

Se apoya sobre las pantallas y constituye el cierre del cajón en su parte superior. En muchas ocasiones, el cálculo de la losa ya contempla en sus extremos la viga-riostra para el arriostramiento en cabeza de las pantallas, con lo que se realizan estas dos funciones en un sólo hormigonado.

Continuando, la explanada se aprovecha como cubierta contra el terreno, empleando encofrado plano. En el caso que haya de quedar el paramento visto, éste se formará por entablillado de madera. Si no va a ser visto, como es el caso habitual en túneles, se obtienen resultados más que satisfactorios, extendiendo una capa de mortero de regularización- nivelación sobre el terreno, sobre la cual se hormigona la losa superior de la estructura, con la precaución de haber desplegado un plástico para cubrir el mortero y evitar así la adherencia con el hormigón.

iii) ***Relleno y restitución de la superficie***

Es una de las principales ventajas de este método en construcciones que discurren por terreno urbano, puesto que permite restituir el uso normal en superficie sin necesidad de esperar a finalizar la obra por completo, pues se puede seguir trabajando simultáneamente bajo la losa.

iv) ***Excavación entre pantallas***

Se realiza la excavación del terreno bajo la losa superior, teniendo en cuenta paralelamente aquellos procesos que pueden resultar conflictivos:

- **Apoyos intermedios:** al iniciarse el vaciado, la pantalla solicitada por los empujes del terreno empieza a trabajar como ménsula. Al ir ganando profundidad, el momento máximo crece con el cubo de la profundidad, y es preciso disponer de apoyos que modifican la forma de trabajar estructuralmente de la pieza, debiendo calcularse la pantalla contemplando los estados sucesivos de carga. Normalmente, para conseguir los apoyos intermedios, se acude a los apuntalamientos metálicos y la ejecución de anclajes tensados al terreno, siendo- usualmente- provisionales, hasta que la cimentación sea finalizada (en construcciones urbanas, con edificios muy próximos, puede no haber posibilidad de colocar anclajes). Si la estructura definitiva consta de varias plantas o niveles, serán las losas de estas plantas las que se comporten como apoyos intermedios para las pantallas. En el caso de estructuras con gran altura libre, caso típico de estaciones o intercambiadores de transporte, se suele recurrir a la colocación de estampidores a media altura, que acodalen unas pantallas contra las que están situadas enfrente.
- **Presencia de agua:** la construcción de las paredes del recinto, salvo que se empotren en un nivel impermeable, no impide el paso del agua bajo el fondo de la pantalla y, por tanto, la construcción definitiva debe prever algún procedimiento para soportar las subpresiones o, bien, reducirlas. Lo más habitual suele ser la construcción de una losa de fondo. Para la construcción de la losa de fondo caben dos posibilidades:
  - *Depresión provisional del nivel freático mediante well-point,* o con galerías de drenaje continua y longitudinal. La utilización de este procedimiento en suelo urbano debe completarse con cuidado, dado que puede producir asientos en superficie que afectarían a edificios colindantes.
  - *Creación de una presolera impermeable mediante inyecciones.* Actualmente, es una solución bastante utilizada valiéndose, casi siempre, de la técnica del *jet-grouting*.

v) ***Ejecución de la contrabóveda, que cierra la estructura en su parte inferior***

Se realiza la excavación de la última etapa del terreno y se hormigona la losa de fundación que "cierra" la estructura.

Figura 5.54

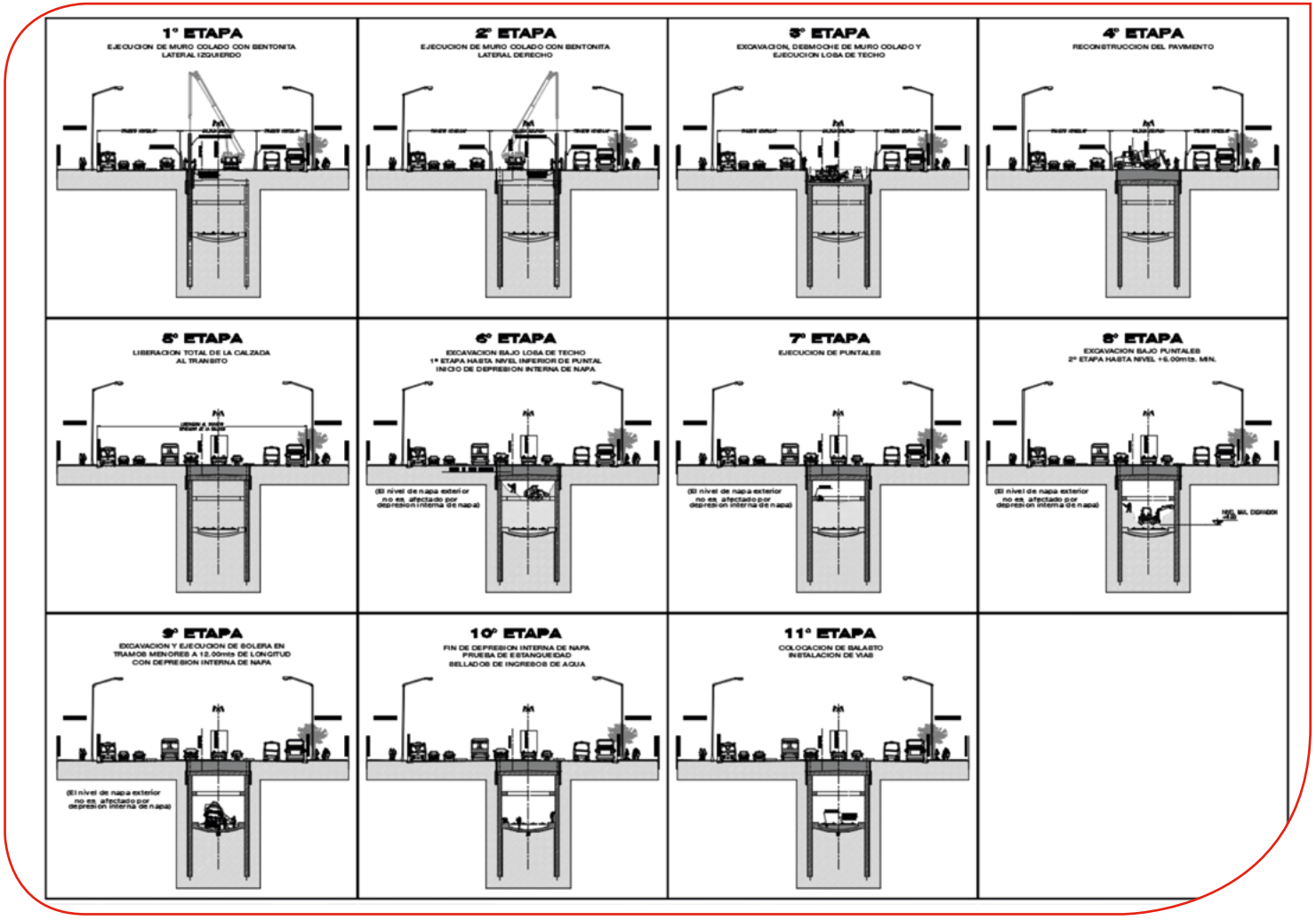
"Mordazas de cucharas para excavar muro colado"



Fuente: visita a obra Puerto de Berisso en Buenos Aires, Argentina.

Figura 5.55

"Procedimiento completo método constructivo Cut & Cover con muro colado (incluye todos los pasos para la construcción de un túnel utilizando muro colado)"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

5.4.2.3.3. *Método a Cielo Abierto*

Este modelo de construcción puede considerarse residual, puesto que exige una gran disponibilidad de terreno en superficie, algo prácticamente imposible en suelo urbano. En el caso de Madrid, por ejemplo, sólo se ha empleado para calles intransitadas y tramos en campo abierto donde la urbanización está prevista, pero aún no ha sido desarrollada.

Básicamente, consiste en abrir una trinchera hasta cota de contrabóveda, para luego ejecutar la estructura del túnel y cubrir la trinchera de nuevo. Se pueden distinguir las siguientes fases:

- Excavación en trinchera hasta cota de contrabóveda.
- Ejecución de contrabóveda.
- Ejecución de muros laterales.
- Ejecución de bóveda con carro encofrador.
- Impermeabilización, relleno lateral, relleno sobre clave, hasta restitución de uso preexistente.

Las principales ventajas de este método son:

- Se reducen las incertidumbres respecto a la seguridad, plazo y costo.
- Las subsidencias inducidas son notablemente menores, y se eliminan los tratamientos del terreno.
- Se tiene una mayor independencia del tipo de terreno atravesado.
- Menor dependencia de mano de obra especializada.
- Se pueden abrir varios frentes simultáneamente, lo que redunda en reducción de plazo y menor vulnerabilidad en caso de presentarse un problema en el frente.
- Permite el aprovechamiento del espacio subterráneo, creado entre superficie y gálibo del túnel: aparcamientos, galerías para servicios, etc.

Sus principales inconvenientes son:

- Necesidad de ocupación en superficie, y un mayor riesgo de interferencia con servicios urbanos (abastecimiento de agua, alcantarillado, luz, gas, etc.).
- Impacto en el patrimonio histórico y natural que exista en superficie.
- Suponen por lo general una mayor molestia al ciudadano, en cuanto a ocupaciones, desvíos de tráfico, ruidos, polvo, etc.

Figura 5.56

"Túneles ejecutados a cielo abierto en zonas no pobladas en linea 12 de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.57

"Túneles ejecutados a cielo abierto en zonas de suelos superiores muy blandos en avenidas amplias, en línea B de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

Figura 5.58

"Túneles ejecutados a cielo abierto en zonas de poca tapada, o suelos superiores muy blandos y en avenidas amplias, utilizado taludes y anclajes de sostenimiento, en línea B de Subterráneos de Buenos Aires"



Fuente: Subterráneos de Buenos Aires.

5.4.2.3.4. *Construcción con tunelera*

a) *Tuneladoras de frente abierto*

Históricamente, es la primera tipología de escudos en aparecer. En el Metro de Madrid, por ejemplo, han trabajado un total de tres tuneladoras, realizando 19,4 km de túnel. Un escudo abierto, no es más que un robusto anillo de acero que protege el perímetro de la excavación y el montaje del revestimiento, en el que se apoya mediante "gatos de cargas" para seguir avanzando.

Dicho anillo tiene tres sectores diferenciados: el sector delantero o sector de corte, el intermedio o sector de empuje, y el trasero o sector de colocación del revestimiento.

El frente de la máquina puede presentar diversas soluciones, en función del sistema de excavación a emplear:

- Manual, utilizando martillos neumáticos.
- Mecanizada, a través de un brazo excavador o brazo rozador. En este caso, puede contarse con un sostenimiento parcial del frente, en forma de paneles que se aproximan con "gatos", según va excavando el brazo.
- Mediante rueda giratoria mecanizada. El frente está totalmente sostenido por la rueda, aunque sin presurización alguna. Las aperturas para la entrada de material presentan un sistema hidráulico que las permite cerrar parcialmente, para controlar la entrada de material o totalmente, en caso de inestabilidad.

La excavación con este tipo de escudos se realiza a sección completa, por lo que presenta mayor riesgo en cuanto menor protección del frente exista. En cualquier caso, al no tener presurizado el frente, el riesgo de entrada repentina de material (por ejemplo, la presencia de bolsas de agua con presión en paquetes de arenas sin cohesión) siempre está presente.

Entre las principales ventajas de este sistema constructivo se encuentran:

- Mejores rendimientos, sobre todo en tramos largos, al poder simultanear las tareas de excavación y montaje de revestimiento. Como valor promedio, se puede considerar 200 a 250 m/mes.
- Mayor seguridad de los trabajadores al encontrarse éstos en el interior del escudo.
- Menor dependencia de la mano de obra especializada debido al alto grado de mecanización.

Como desventajas principales, encontramos:

- Alta inversión inicial.
- Necesidad de espacio para pozo de introducción, acopios e instalaciones auxiliares.
- Frente sin proteger, por lo que el riesgo de entrada de material y/o agua al interior del escudo existe.
- Un único frente de trabajo, lo que complicaría la consecución de las obras en caso de avería.

b) *Tuneladoras de presión de tierras*

Para el caso de que el túnel se tenga que construir en terrenos blandos e inestables, y sobre todo en suelos permeables sometidos a carga freática, el escudo de frente abierto presenta los inconvenientes de todo sistema con gran frente abierto. Por ello, el siguiente paso de la técnica es el de la utilización de escudos presurizados.

Éstos, garantizan la contención del terreno del frente de la excavación impidiendo, además, la penetración del agua del subsuelo al interior del túnel.

La presurización se busca, inicialmente, acudiendo al empleo de aire comprimido, que se aplica bien a un tramo completo del túnel excavado y revestido, al que se accede mediante esclusas, o bien a la zona inmediata al frente de excavación, que se concibe como una cámara hermética.

Posteriormente, se desarrollan otros sistemas que persiguen los mismos objetivos de sostenimiento

del frente y estanqueidad de la excavación, mediante la presurización de una cámara estanca situada tras la rueda de corte del escudo.

El primero de los sistemas, denominado Hidroescudo (Slurry Shield), presuriza el frente mediante la inyección de lodos bentoníticos a la cámara estanca. Estos lodos sirven, además, como vehículo para la extracción del material excavado, que se realiza por vía húmeda mediante el bombeo del fango resultante por tuberías, hasta una instalación situada en superficie en donde se regenera el lodo para posteriores usos, y se separa el inerte para su transporte al vertedero.

Otros de los sistemas de presurización del frente lo constituyen las tuneladoras que desarrollan la técnica de Equilibrio a Presión de Tierras, conocidas como tuneladoras EPB (Earth Pressure Balance), quizás las que mayor desarrollo y utilización están alcanzando en los últimos tiempos por su versatilidad.

En este caso, la presurización de la cámara se consigue manteniendo en ella una mezcla de terreno extraído, aguas y espumas a cierta presión. Ésta se regula mediante la remoción controlada de la mezcla, a través de un tornillo sinfín.

La excavación se consigue por la rotación de la cabeza de corte, equipada con herramientas especializadas (rastrillos, cinceles, picas, discos) adecuadas. El revestimiento se materializa en el interior del escudo, mediante el posicionamiento de las distintas dovelas que conforman el anillo con un erector.

Aparte de las ya mencionadas para los escudos abiertos, las tuneladoras de frente cerrado presentan estas ventajas adicionales:

- Mayor seguridad y estabilidad del frente debido a la presurización.
- Mayor independencia de los terrenos excavados, al ser el sistema menos susceptible a los cambios de éste.
- Reducción de los problemas generados por el agua.
- Menor necesidad de tratamientos en el frente.
- Menores subsidencias en superficie por el control que se consigue mediante la presurización.

En el caso de Madrid, para ejemplificar, se han ejecutado con este sistema un total de 99.4 km, todos ellos a partir del año 1995, habiéndose convertido en el modelo masivo de construcción de los túneles, y elemento esencial en el éxito de las sucesivas ampliaciones de la red hechas desde ese año. Un valor promedio de rendimiento, para este método, puede ser de 500 m/mes.

c) *Tuneladora para suelos duros o rocas: doble escudo*

La tuneladora de doble escudo es capaz de trabajar como topo (modo continuo de trabajo) o como escudo, en función de la calidad del macizo rocoso, siendo la mejor solución para terrenos con tramos de tipología variable suelo-roca. En este tipo de tuneladoras, el escudo está dividido en dos partes: la delantera en la que se encuentra la cabeza de corte, y la zona trasera, en la que se realiza el montaje del anillo de dovelas.

El movimiento de estas dos partes del escudo es independiente, situándose los *grippers* en un hueco abierto entre ambas, por lo que la cabeza puede excavar mientras que en la cola del escudo se van montando los anillos de dovelas. De esta manera, los rendimientos alcanzados con este sistema son mucho mayores que con un escudo simple. Este procedimiento se aplica en aquellos terrenos capaces de resistir la presión que transmiten los *grippers*, al mismo tiempo que los cilindros de empuje principal impulsan el escudo de cabeza y, la rueda de corte, realiza la excavación. En el escudo trasero se procede al montaje de un nuevo anillo de dovelas de sostenimiento al abrigo del mismo.

Cuando el terreno es más débil y no es capaz de resistir la presión de los *grippers*, la tuneladora funciona como escudo simple, cerrándose el hueco

de éstos, y apoyándose la máquina mediante unos cilindros auxiliares en el último anillo colocado, con el fin de obtener la reacción necesaria para el empuje de la cabeza de corte (es decir, como trabaja un escudo normal). Por ello, trabajando en modo escudo, no es posible simultanear la excavación con el montaje del anillo de dovelas.

5.4.3. *Talleres y cocheras*

Para el buen funcionamiento y operatividad de un metro, es imprescindible disponer de los talleres y las cocheras, asociadas al Material Rodante del proyecto, en las proximidades de las líneas para el estacionamiento y mantenimiento del material móvil que circulará por ellas.

No en todas las cocheras se realizan las mismas actividades, por lo que las instalaciones a construir serán diferentes en función de las necesidades de mantenimiento y almacenamiento de material móvil de las líneas a las que dan servicio.

Las cocheras se materializan en volúmenes de edificación que albergarán las vías e instalaciones necesarias en cada caso, así como sus correspondientes dependencias auxiliares y de servicio. El condicionante principal para las dimensiones de las naves será el diseño y número de vías que contemplen todos los usos y operaciones previstas para cada cochera.

Estos depósitos de Material Rodante podrán ser enterrados o en superficie, en función de los espacios disponibles y condicionantes urbanísticos correspondientes.

De esta forma, es relevante tener presente el programa de necesidades correspondiente a operación, mantenimiento e ingeniería de material móvil, almacenes, nave de dresinas y vehículos auxiliares para inspección y mantenimiento, formación profesional, servicios médicos, energía, subestación, centros de transformación; así como un cuarto de enclavamiento, comunicaciones, de calderas, o edificio de control de acceso.

De la misma forma, se deberá considerar cuestiones relacionadas con Medio Ambiente, protección contra incendios, seguridad, prevención laboral, mobiliario y equipamiento, etc.

Como idea general, se aconseja agrupar en distintos módulos cada una de las zonas en las que debería estar divida la cochera según su función específica. Así, se distinguen los siguientes módulos:

- Módulo de estacionamiento.
- Módulos de mantenimiento: ciclo corto, ciclo largo, etc.
- Módulos de lavado y limpiezas técnicas.
- Naves o zonas para vehículos auxiliares.
- Subestación y centros de transformación.

Los cuartos de instalaciones auxiliares, almacén, dependencias de personal (aseos, vestuarios, cocina, baños, etc.), oficinas requeridas para cada actividad, y otras dependencias de la cochera, se deben ubicar en los edificios correspondientes donde se desarrolle la actividad.

También, podrán disponerse de otros edificios que estarán anexos o serán independientes entre sí, como sería un edificio auxiliar de oficinas, puesto de control del depósito, control de accesos, almacén de residuos, etc.

Es importante definir tempranamente los requerimientos de los talleres y cocheras, ya que, de esto dependerá en gran medida la superficie requerida y su emplazamiento. Su dimensionamiento permitirá el inicio, previa evaluación de terrenos alternativos, del proceso expropiatorio. Además, el saneamiento del terreno puede necesitar de un tiempo considerable, antes de poder iniciar la construcción de las instalaciones. Si no se aborda esto de manera temprana, las obras pueden tornarse críticas para el proyecto.

Figura 5.59

"Vista aérea de cochera o patio de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.60

"Zona de estacionamiento de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.61

"Zona de mantenimiento en talleres de Línea 1, Metro de Lima"



Fuente: ALAMYS.

Figura 5.62

"Maquinaria en talleres de Línea 1, Metro de Lima"



Fuente: ALAMYS.

5.5. Sistemas y equipamientos

Dentro del grupo de sistemas y equipamientos se pueden distinguir, sin clasificarlas de mayor a menor importancia:

- Distinción entre las instalaciones propias de la explotación ferroviaria, de otras que sean accesorias o de acompañamiento a la operación.
- Aquellas que sean de envergadura física y que requieran mucho espacio y zonas anexas para conexionado, equipamiento, etc.; o las que requieran un espacio o ubicación específica por ruido, por ejemplo.
- Aquellas que sean de importancia y calado, desde el punto de vista del suministro de las mismas.
- Instalaciones y servicios, en general, necesarios para situaciones temporales de construcción, tanto para la obra en sí misma, como para otro tipo de servicios que se puedan ver afectados, desviados, etc.

Dentro de todas ellas, hay que tener presente el momento en el que deben ejecutarse las mismas, y la flexibilidad que pueden ser capaces de absorber, por lo que el conocimiento de la instalación- desde el punto de vista de lo que se necesita para su implantación y su funcionamiento en servicio- es clave.

Así, se puede hablar, en cuanto a sistemas y equipamientos, de:

- Material Rodante.
- Sistema de Vías.
- Instalación de energía de alta tensión, incluida subestación.
- Instalación de energía de tracción.
- Instalación de energía de baja tensión: fuerza y alumbrado.
- Instalación de señales.
- Sistema de Comando Centralizado.
- Instalación de comunicaciones: interfonía, telefonía, wifi, etc.
- Sistemas de Puertas de Andén.
- Ventilación y/o climatización.
- Bombeo de aguas residuales. Bombeo de aguas pluviales y de infiltración.
- Instalación de protección contra incendios.
- Instalación de seguridad.
- Salidas de emergencia.

En cuanto al equipamiento:

- Control de acceso.
- Peaje.
- Ticketing.
- Escaleras mecánicas y rampas.
- Ascensores.
- Información a pasajeros.

De una forma o de otra, todo tipo de instalación y equipamiento necesita una serie de espacios, servidumbres, conducciones, etc., para que se implementen e integren dentro de la infraestructura de la mejor forma posible, de tal manera que se facilite la flexibilidad, mantenibilidad y operatividad.

Figura 5.63

"Instalación de subestación eléctrica de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

De forma general, el no tener claro el tipo de explotación y modelo de operación que se requiere, dificulta bastante que la solución finalmente adoptada sea lo más operativa y funcional posible.

En infraestructuras y explotaciones de nueva creación esto suele ser algo normal, sobre todo cuando- en el país en cuestión- ni siquiera se tiene la cultura ferroviaria suficiente o el conocimiento necesario.

De esta manera, la ruta crítica a tener presente viene dada de:

- No tener previsión de movimiento de viajeros, ni las proyecciones que pueden darse en futuro sobre ellos.
- No tener claro los condicionantes de país ni mapas estratégicos: sociológicos, demográficos, de desarrollo, etc.
- No saber ni tener claras las condiciones territoriales y/o urbanísticas.
- No disponer de legislación en materia ferroviaria.
- No tener claras las normativas de aplicación a este tipo de infraestructura, ni de las implicaciones que- en caso de no existir- puedan derivarse.
- No tener claro el modelo de explotación.
- No tener presente las necesidades de cada uno de los campos necesarios para la construcción de la infraestructura, entendiendo por "campos" los correspondientes a energía, comunicaciones, señales, etc.
- No contar con una infraestructura que se proyecte a varios cientos de años.
- Estar constantemente en manos de proveedores sin controlar el conocimiento.
- No tener clara la integración entre modos de transporte y el impacto que se deriva de dicha interacción.
- Posible efecto barrera y/o efecto "bulto" en instalaciones en superficie.
- Ruidos y vibraciones. Contaminación acústica, lumínica, etc. Mantenimientos nocturnos.
- Espacios subdimensionados.
- Soluciones poco funcionales o que generan inseguridad o "puntos de movimiento duros".
- Utilización de métodos constructivos que condicionan la funcionalidad y la flexibilidad.

- No tener presente la futura mantenibilidad ni los costos que suponen.
- Utilización de soluciones que generen inversiones constantes a corto plazo.

De una forma sencilla, las recomendaciones van en línea de evitar o poner soluciones eficaces sobre aquellas cuestiones que puedan generar rutas o puntos críticos dentro de la instalación ferroviaria. De forma general, podría indicarse que sería conveniente:

- Crear un marco legislativo y normativo específico para la infraestructura a desarrollar.
- Utilizar soluciones constructivas, que se adapten a la funcionalidad y los requerimientos solicitados y no al contrario, teniendo en cuenta flexibilidad y una alta proyección futura.
- Tratar en todo momento de llevar el control como *Project Manager* directamente desde la administración correspondiente, contando con empresas especializadas en caso de ser necesario y sólo como apoyo.
- Los contratos deben poder reflejar una cierta flexibilidad en todos los campos, desde el de proyecto al del precio, de tal forma que, en caso necesario, poder hacer las modificaciones correspondientes.
- Los papeles y responsabilidades de los intervinientes deben de estar perfectamente definidos, debiendo tener la capacidad de decisión necesaria para no demorar los trabajos.
- La arquitectura debe estar centrada en las necesidades de los usuarios y viajeros. Hay que tener presente que una estación no es un museo. Para ello, considerar:
  - Perfecta organización funcional del proyecto.
  - División contractual y puntos frontera.
  - Responsabilidades y capacidades de decisión.
  - Criterios claros y definidos. Reuniones ejecutivas de alto nivel de puesta en común de servicios, instalaciones, infraestructura, etc.
- La tecnología permite realizar la infraestructura rápidamente, por lo que el plazo es un elemento a tener muy presente. No podrá haber demoras por falta de decisión, o cualquier otra cuestión administrativa. Se deberá ser lo más resolutivo posible.
- En caso de toma de decisiones, éstas se harán en máximo 24 horas, contando con los máximos responsables técnicos y políticos.
- Trabajo conjunto con los máximos responsables políticos, administraciones, agentes sociales, etc.
- Las razones de los retrasos, sobrecostos, entre otros, tendrán la correspondiente justificación, incluso tratándose de cuestiones estratégicas territoriales, políticas, etc.
- Cuidadosa selección de empresas contratistas y de proveedores.
- División de contratos en distintos campos: construcción, control de calidad, asistencias técnicas de apoyo, etc.
- Utilización de soluciones constructivas y técnicas de “cero mantenibilidad”. Algunas soluciones a priori baratas, pueden encarecer muchísimo el mantenimiento futuro.
- Utilización de soluciones de alta estandarización. Ésta, una vez en marcha la infraestructura, debe estar siempre en constante revisión para buscar soluciones de futuro que la tecnología pueda aplicar en su caso.
- Políticas de ayuda a la explotación y el mantenimiento de autodiagnóstico.
- Alta formación y capacitación de los profesionales al frente de la explotación.
- Disponer de un departamento propio de ingeniería y desarrollo.
- Búsqueda continua de la optimización.
- Utilización de diferentes modalidades contractuales entre la administración, empresas públicas, empresas privadas, proveedores, etc.
- Soluciones acordes a planes directores revisables.

- Soluciones constructivas de alta integración urbanística, evitando efecto barrera y efecto "bulto".
- Comprobaciones in situ.
- Utilización de *softwares* específicos de simulación y utilización.
- Realización de encajes funcionales, sobre todo en estaciones de interconexión.
- Penalización o no de la explotación a favor del mínimo desplazamiento de viajeros.

En cuanto a los suministros y montajes de los sistemas de equipamientos, en el desarrollo de proyectos metroferroviarios, es frecuente que la ruta crítica pase por el montaje del sistema de vías, ya que- generalmente- la vía es el medio principal utilizado para transportar y montar la mayoría del resto de los equipamientos.

Figura 5.64

"Cuartos de baja y alta tensión en estación Pacifico de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.65

"Sistema de ventilación de estaciones en estación Mirasierra de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.66

"Sistema de acceso en estación, Metro de Ciudad de México"



Fuente: ALAMYS.

5.5.1. *Material Rodante*

La elección del Material Móvil o Material Rodante, es determinante en este tipo de infraestructuras.



Lo normal es que a la vez que se licitan pliegos para la construcción de la infraestructura y las instalaciones, también se licite el material móvil, por lo que, en los mismos, los parámetros básicos que impactan directamente sobre la infraestructura deben ser conocidos.

En la siguiente tabla puede verse como ejemplo los mínimos requeridos para un metro pesado:

Tabla 5.2

"Ejemplo de parámetros básicos de infraestructura en metro pesado (túnel)"

DATOS DE DISEÑO	
Ancho de vía	**1.445 mm**
Velocidad máxima	110 km/h
Velocidad máxima excepcional (en el acceso a estación/cocheras)	**37 km/h**
Radio mínimo[13]	250 m
Radio mínimo excepcional (en el acceso a estación/cocheras)	**80 m**
Curva de transición	Clotoide
Gráfico de peralte en curva de transición	**Lineal**
Peralte máximo	150 mm
Inclinación de máximo peralte	**1,5 mm/m**
Aceleración máxima sin balance	0,65 m/s2
Pendiente máxima	**35‰**
Longitud mínima	0,55*v = 60,5 m
Inclinación del riel	**1/20**
Tipo de riel	54 E1
Tipo de pista	**Concrete**

Fuente: ALAMYS.

13 Haciendo referencia al área

Una cuestión esencial no reflejada es el gálibo máximo permitido, estático y dinámico, así como las distancias de seguridad correspondientes.

Esta cuestión es relevante, no sólo en condiciones normales de explotación en túnel, sino también en otro tipo de condiciones, como son las degradadas e incluso situaciones requeridas de explotación en momentos determinados.

Dentro de este último apartado, es importante tener presente las distancias a borde de andén en estación; el movimiento de trenes en aparatos de vía cercanos a estaciones; y cómo pueden impactar en las distancias con el andén, puertas de andén, etc.

También, es relevante comentar que las instalaciones a colocar sobre el túnel- en caso de infraestructura subterránea- deberán tenerse en cuenta, ya que pueden interferir con los gálibos establecidos previamente; y que es difícil cambiar las obras una vez construidas, pues se pueden realizar actuaciones de adecuación, modernización, etc., pero teniendo en cuenta el costo elevado que esta decisión valdría.

A pesar de todo, y volviendo al material móvil, éste sí suele variar y hay que tenerlo presente. Con un periodo de vida útil de entre 30 a 50 años, en función de cuanto se "estire" la capacidad de transporte del vehículo, habrá que renovar la flota o no. En este sentido, y con costos marginales pequeños, deben de preverse situaciones futuras que no supongan cambios significativos en la infraestructura inicialmente diseñada. ¿Es esto

posible? Sin duda, teniendo presente cuales son los factores que más impactarán de cara a futuro.

a) *Características principales de la definición de infraestructura*

En este apartado, habrá de tenerse presente las características principales o básicas que deben definir el Material Rodante. Aquí, podría decirse que hay que centrar la atención en la función de "transporte" propiamente tal.

Las cuestiones más relevantes vienen definidas por el tipo de vía, geometría y condicionantes estáticos y dinámicos del tren completo. Así, deberán tenerse presente cuestiones como ancho de vía; velocidad máxima o punta; velocidad en depósitos o patios; radios mínimos de giro; radios mínimos en depósitos o patios; tipología de curva de transición; variación de peralte hasta la transición, peralte máximo, pendiente en peralte máximo, aceleración máxima sin compensar, variación máxima de peralte; acuerdo vertical y mínimo KV; pendiente máxima; recta mínima; inclinación de carril, tipo de carril (forma, dureza, etc.) y tipo de vía; entre otros.

De la misma manera, deberá estar en consonancia con el tamaño y tipo de túnel: si es un túnel único de una vía o más vías, o si son varios túneles, paralelos o superpuestos; galibo estático y dinámico; túneles con pasillo lateral de evacuación o con entrevía "generosa"; velocidad de operación y entrada en estaciones, sobre todo en las de cabecera; intervalo mínimo entre trenes; explotación por mallas o por intervalos; longitud de estaciones y forma de la mismas: rectas o curvas; tipo de aparatos de vía, de alta tecnología, de tecnología convencional, etc.; posición de los aparatos de vía y número de ellos; etc.

Cuando una infraestructura de estas características debe ponerse en funcionamiento "desde cero", existen una serie de condicionantes cuyas respuestas deben tenerse claras. Por ejemplo: "¿cuán grande hago el túnel?", "¿una, dos o más vías por túnel?", "¿tiene o no tiene pasillo de evacuación?".

Tomadas las decisiones correspondientes, no conviene mezclar sistemas dentro de una misma explotación, para tratar en la medida de lo posible de facilitar la operación y mantenimiento, teniendo presente- como ya se ha comentado- que la infraestructura tiene una alta proyección temporal, y lo que puede parecer fácil, sencillo o, simplemente no importar desde el momento inicial, puede hacer excesivamente cara la operación y manejo de la operación futura, con muy difícil solución cara a futuro.

Figura 5.67

"Material rodante con evacuación frontal, tren de línea 6 de Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

b) ***Características a tener en cuenta en el Material Rodante de cara a la definición de la explotación***

En este apartado, deben considerarse las características correspondientes a la explotación, como son las cuestiones propias de la compañía y las de servicio al cliente.

En la primera, hay que poner atención en el sistema de tracción, comunicaciones, señales, ordenador a bordo, manejo de información, autodiagnóstico y predicción de fallos, comunicación en tiempo real, proceso de datos, etc.

Partiendo de las cuestiones más relevantes para la definición del material móvil, hay que tener en cuenta las correspondientes a energía, señales y comunicaciones.

- Energía: tipo de corriente y voltaje; tipo de catenaria: tranviaria, rígida, etc.; consumos; entre otros.
- Comunicaciones: "internas" con el puesto de mando, centro de mantenimiento, etc.; y "externas" o de cara el viajero: relativas a incidencias, CCTV, etc.
- Sistema de señalización: ATO, ATP, manual, CBTC, etc.

Así mismo, deberán tenerse presente cuestiones relativas a la operación, como ya se ha comentado con anterioridad, respecto al intervalo entre trenes y tipo de operación (si es por mallas o no); si es un sistema de conducción *driverless* GoA4; con puertas de andén; estaciones climatizadas; etc.

En la segunda, deberán tenerse presente temas que involucren directamente al pasajero e incluso a la infraestructura, como pueden ser los asuntos relacionados con la seguridad (*safety* y *security*), cuestiones de confortabilidad, aire acondicionado, accesibilidad, arquitectura e imagen corporativa, información al cliente, etc.

A continuación, se muestran ejemplos de definición de infraestructura.

Figura 5.68

"Sistema de teleindicadores en estación Acacias/ Embajadores de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Figura 5.69

"Mapa de accesibilidad en estación de SITEUR de Guadalajara"



Fuente: ALAMYS.

5.6. Interfaces

5.5.2. Sistema de vías y sistema eléctrico

Los sistemas de vías y eléctrico son fundamentales para el resto de los sistemas. El primero, porque permite que la energía, señalización, comunicaciones y comando centralizado inicien sus montajes; y el segundo, porque proporciona, junto con la vía, la circulación del material rodante y el inicio de las pruebas de todos los sistemas (tanto estáticas, como dinámicas). Además, facultan probar los trenes y, en conjunto con estos, testear la integración de los distintos equipamientos que contempla el proyecto.

Lo normal es que a la vez que se licitan pliegos para la construcción de la infraestructura y las instalaciones, también se concurse el material móvil, por lo que, en los mismos, los parámetros básicos que impactan directamente sobre la infraestructura deben ser conocidos.

Las interfaces suelen ser afrontadas en la coordinación de contratistas que pueden estar a cargo de la dirección de obra o de la empresa principal, pero también es conveniente que se realice en la etapa de proyecto, tratando ya de interactuar con las posibles entidades constructoras y los proveedores con posibilidad de intervenir.

La definición de interfaces es fundamental para evitar contratiempos en la ejecución de las obras, para lo cual es indispensable tener profesionales de experiencia y con la mayor definición posible de proveedores, cuya tecnología sea utilizada en cada parte de la obra. Así, se minimizan los contratiempos por tareas improductivas, que se generan cuando no se han tenido en cuenta las previsiones de todas las otras especialidades.

Cualquier falta en este análisis de interfaces, producirá que los tiempos de proyecto se aumenten.

Con todo, es imprescindible que las previsiones contemplen la ubicación de todo equipo e instalación, de manera tal que- cuando se realice la construcción civil y el montaje de las instalaciones- no sea necesario cambiar o improvisar soluciones no previstas como:

- Cambios de procesos constructivos.
- Demoliciones.
- Demoliciones por pases no previstos.
- Incorporación de nuevos equipos.
- Modificación de equipos por falta de previsiones en el proyecto.
- Modificación de equipos por inconvenientes en el momento del montaje.

La principal recomendación en esta fase es el contacto temprano con las consultoras, empresas constructoras y posibles proveedores con experiencia para poder proyectar las previsiones necesarias que interrelacionan todas las disciplinas.

Hoy en día, las tecnologías de información ofrecen herramientas (*softwares*) orientadas al modelamiento virtual de la construcción, en base a planos 2D, pero con un despliegue secuencial en 3D, permitiendo detectar tempranamente

incompatibilidades del proyecto en su etapa de diseño o Ingeniería de Detalle. Esto permite disminuir el universo de conflictos no sólo en términos constructivos, sino también en términos de plazo, de gestión contractual y de sobrecostos por órdenes de cambio tanto de alcance de los contratos como de volúmenes de obra.

Cuando las interfaces no son abordadas tempranamente, esto es, identificarlas, acotarlas y gestionarlas de manera oportuna, se traducirán en interferencias que impactarán en mayor o menor grado el costo, el plazo, o el desempeño (alcance y calidad) del proyecto, ya que se transformarán en interferencias que demandarán soluciones de ingeniería en plena ejecución del proyecto.

Figura 5.70

"Nuevo taller de la línea 3 de Metro de Santiago, Chile"



Fuente: Metro de Santiago.

5.7. Relaciones con la comunidad y Medio Ambiente

Durante la etapa de construcción del proyecto de metro, se deberán ejecutar las medidas propuestas en las fases anteriores para el relacionamiento con la comunidad, y llevar a cabo un seguimiento ambiental pormenorizado y constante.

5.7.1. Relaciones con la comunidad

Durante la etapa de construcción, será fundamental cumplir los compromisos adquiridos en el ciclo anterior, demostrando la voluntad de minimizar los impactos negativos del proyecto. Los problemas o errores se pueden perdonar, no así la falta de voluntad para evitarlos y resolverlos.

La relación con la comunidad durante esta fase, comprende todas las actividades realizadas por el mandante y sus empresas contratistas. Esto significa que no sólo el diálogo directo es de este ámbito, sino también las acciones concretas del proceso de construcción de infraestructuras, incluyendo obras temporales como cierres perimetrales.

Para la comunidad, la construcción es una etapa de gran inquietud y, en ocasiones, de difícil aceptación; por tanto, los riesgos pueden ser muchos y muy variados.

Por ello, el principal desafío consiste en incluir a la comunidad en la tarea de evaluar si las medidas están dando los resultados esperados, responder oportunamente a los reclamos o quejas, entregar información de manera constante, y dar respuesta eficaz en caso de que se presenten inconvenientes o fallas. Una buena práctica es contar con profesionales del constructor y del interventor en el territorio, para interactuar permanentemente con la comunidad y con la empresa.

La manera en que se gestionen las relaciones con los actores locales en esta etapa, puede marcar el tono de la interacción con la comunidad y las autoridades para el resto del ciclo del proyecto. En la siguiente tabla, se enlistará la planificación de tareas recomendadas para enfrentar esta labor:

Tabla 5.3

TAREAS
1. Identificar a los actores sociales que más puedan sufrir los efectos de la construcción, y establecer acuerdos básicos para la relación durante el proyecto.
2. Preparar a contratistas para que tengan la capacidad de relacionarse de modo adecuado con la comunidad. Incluir desde los términos de la contratación, que las empresas contratistas y de supervisión de obras tengan un componente de gestión social propio.
3. Informar oportunamente a las personas afectadas acerca de las actividades de construcción y el programa de actividades.
4. Fortalecer la presencia en terreno del equipo de relaciones comunitarias y responder a tiempo los reclamos.
5. Comunicar a las personas interesadas los avances de la construcción y el cumplimiento de los compromisos adquiridos para el proceso.
6. Velar por el cumplimiento de buenas prácticas, gestionando el riesgo de malos comportamientos de trabajadores propios o contratistas.
7. Generar un espacio de comunicación e interface entre el componente técnico y el social.
8. Homologar el lenguaje y definir un decálogo, que incluye códigos de relacionamiento y de seguridad. Es clave de éxito estar cerca del equipo constructor desde el principio.

5.7.2. *Medio Ambiente*

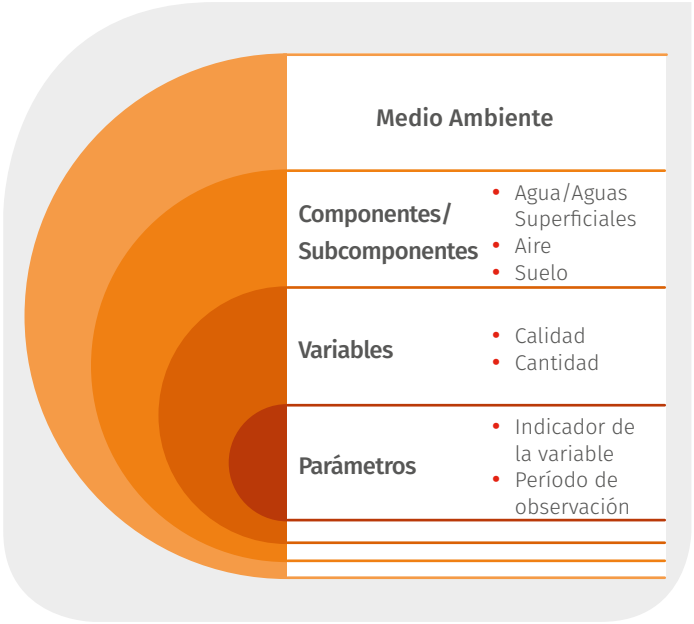
En relación con las consecuencias ambientales de un proyecto de metro y subterráneo, es importante adelantarse a los impactos que se puedan generar (ver "Capítulo 3: Planificación" de este documento), de modo que al entrar en la fase de construcción, los impactos ya estén internalizados en el diseño del proyecto. Con ello, el esfuerzo se concentrará en aquellos riesgos no previstos anteriormente, o que no hayan sido internalizados adecuadamente, en vez de comenzar de cero.

Así, se deberá llevar un seguimiento pormenorizado de los efectos adversos del proyecto en el Medio Ambiente, para lo cual se tiene que desarrollar un sistema de seguimiento ambiental, como se aprecia en las figuras siguientes.

Especial mención requieren los temas relacionados con arqueología, antropología y paleontología, dependiendo del marco geográfico y cultural en el cual se desarrolla el proyecto. Al respecto, tomando en cuenta la determinación de impactos efectuada en la etapa de planificación- específicamente en las actividades de diseño- se deberá construir una matriz de riegos potenciales de hallazgos arqueológicos y paleontológicos no detectados anteriormente.

Figura 5.71

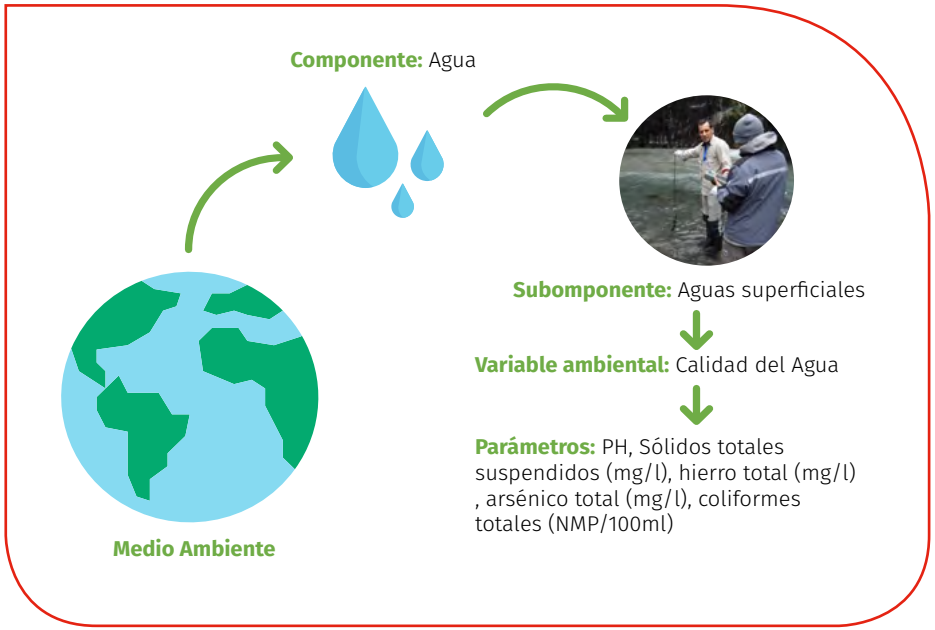
"Esquema general de seguimiento ambiental"



Fuente: Superintendencia de Medio Ambiente, Chile.

Figura 5.72

"Ejemplo: el agua como fundamento del seguimiento ambiental"



Fuente: Superintendencia de Medio Ambiente, Chile.

En el caso de los elementos del patrimonio cultural e histórico, se deberán tener en cuenta las recomendaciones efectuadas por organismos internacionales[14] y considerar, al menos, lo siguiente:

- Estudio acabado de la línea de base levantada en etapas anteriores.
- Delimitación de zonas con alta probabilidad de hallazgos (necesaria participación de especialista).
- Elaboración previa de un plan de monitoreo y procedimientos específicos en caso de enfrentar un hallazgo (según legislación propia de cada país).
- Presencia en los frentes de trabajo de especialista arqueólogo y/o paleontólogo.

14 Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural, UNESCO. *https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf*

5.8. Conclusiones

La decisión de unir dos puntos de la ciudad mediante un sistema de transporte público- en concordancia con la densidad de población, las interferencias existentes con el desarrollo urbano de las zonas que atraviesa la traza con las características de los suelos, etc.- genera la necesidad de definir el tipo de sistema de transporte metroferroviario y los métodos constructivos a utilizar.

Considerando las zonas a atravesar, los recursos disponibles e interferencias a salvar en el presente o futuro, se pueden definir varias opciones o combinaciones de éstas: trazado en túnel, plataformas a nivel, o viaductos. Opciones que dependerán de:

- La infraestructura de la zona urbana.
- La infraestructura subterránea, interferencias de servicios públicos.
- Posibles yacimientos arqueológicos y paleontológicos.
- Tipos de suelos.
- Fallas de suelos.
- Espacio libre hasta la construcción existente y futura.
- Aguas subterráneas.
- Profundidades.

Las definiciones adoptadas en forma preliminar deben ser validadas por los estudios de Ingeniería Básica y de Detalle del proyecto, especialmente lo relacionado con el elemento en que convergen la demanda y oferta de servicio de transporte, como lo son las estaciones, para las que se deberá definir ubicación, profundidad, funcionalidad, conectividad y arquitectura.

Las Ingenierías Básica y de Detalle bien desarrolladas permitirán validar y definir de manera consistentes los programas Maestro y Detallado, respectivamente. Así, se establece una base de control y seguimiento para la materialización del proyecto ferroviario.

En el caso de los proyectos en túnel (solución atractiva dado el menor impacto superficial, pero de costo elevado), existen variados métodos constructivos, tales como el método manual, el *Cut & Cover*, a "cielo abierto" y construcción con tunelera, cuya elección dependerá de las ingenierías del proyecto y de los costos y plazos que cada posibilidad ofrece.

Para las soluciones de plataforma a nivel- dado su impacto en el medio y a pesar que por lo general son de menor costo- la recomendación de uso es esencialmente en áreas semi-urbanas de la periferia, y rurales, teniendo en cuenta el crecimiento de los núcleos urbanos y los instrumentos de planificación territorial.

En zonas de baja densidad poblacional, y donde los suelos no son competentes, el consejo es

optar por la solución de viaductos, considerando los impactos en la red de tránsito y en el medio urbano.

La construcción de viaductos es de menor tiempo y costo en comparación con cualquier construcción en túnel; y sólo deben tenerse en cuenta las interferencias subterráneas donde e implantan las fundaciones de las columnas y estaciones.

En el caso de soluciones en túnel, se debe considerar: el tamaño y tipo de éste; si es uno solo de una o más vías (o varios túneles); paralelos o superpuestos; galibo estático o dinámico; túneles con pasillo lateral de evacuación o con entrevía "generosa"; velocidad de operación y entrada en estaciones, sobre todo en las de cabecera (terminales); intervalo mínimo entre trenes; explotación por mallas o por intervalos; longitud de estaciones y forma de la mismas: rectas o curvas; tipo de aparatos de vía, de alta tecnología, de tecnología convencional, etc.; posición de los aparatos de vía y número de ellos; etc.

Respecto a la infraestructura y equipamiento, la definición del material rodante es un aspecto muy importante, y dependerá del tipo de vía, geometría, condicionantes estáticos y dinámicos del tren completo, ancho de vía, velocidad máxima o punta, velocidad en talleres o patios, radios mínimos de giro, radios mínimos en talleres o patios, tipología de curva de transición, variación de peralte hasta la transición, peralte máximo, pendiente en peralte máximo, aceleración máxima sin compensar, variación máxima de peralte, aceleración vertical, pendiente máxima, inclinación de carril, tipo de carril (forma, dureza, etc.) y tipo de vía, entre otros.

Con todo, no es aconsejable mezclar sistemas dentro de una misma explotación, para tratar de- en la medida de lo posible- facilitar la operación y el mantenimiento, teniendo presente que la infraestructura tiene una alta proyección temporal, y lo que puede parecer fácil, sencillo o, simplemente, "no importar" desde el momento inicial, puede hacer excesivamente cara la operación y manejo de la operación futura, con muy difícil solución posterior.

La relación con la comunidad durante la etapa de construcción se debe comprender en todas las actividades realizadas por el mandante y sus empresas contratistas. Esto significa que no sólo el diálogo cara a cara es importante, sino también las acciones concretas del proceso de construcción de infraestructuras, incluyendo obras temporales como cierres perimetrales.

Respecto al Medio Ambiente, dependiendo de la legislación, los estudios deberán desarrollarse a partir de las ingenierías del proyecto. Una vez obtenidos los permisos respectivos, e iniciada la construcción, se deberá llevar a cabo el programa de seguimiento ambiental del proyecto.







6. OPERACIÓN

En los proyectos metroferroviarios es de vital importancia, por supuesto, que se consideren los criterios del modelo operacional desde el inicio de la etapa de diseño, puesto que- dependiendo de las definiciones que en esta fase se desarrollen- éstos determinarán el trazado por donde se construirá la futura línea, como también la cantidad de estaciones, el dimensionamiento de la infraestructura y los niveles de automatismo que tendrán los sistemas.

Los resultados que en este paso se logren, serán producto de la decisión de cómo se construirá y operará, generando los beneficios para el que fue concebido; o, en su defecto, se deberá aceptar las condiciones de menor *performance* que no se incorporaron por el resto de la vida útil, o hasta que se decida realizar la modificación, con los consiguientes mayores costos y efectos en una línea en operación.

En cuanto a las definiciones para un adecuado desarrollo de una nueva iniciativa metroferroviaria, se visualizan tres elementos críticos que en opinión general debe prestarse atención, ya que fija las inversiones asociadas, los estándares de desempeño y, de alguna manera, fija ciertas rigidices que son extremadamente complejas de resolver una vez en operación. Éstos son:

- Un adecuado y definitivo estudio de demanda.
- El tipo de operación y Grado de Automatización.
- El impacto en la infraestructura dada las definiciones anteriores.

Con todo, en el presente capítulo se resumirán los principales elementos de la etapa de operación, entendiendo que ésta dependerá de las condiciones particulares de diseño del proyecto y de cómo se abordarán los puntos críticos enunciados en el párrafo anterior.

El objetivo es entregar los principales lineamientos de cómo abordar todas las tareas a cumplir, tanto en las etapas de diseño, puesta en marcha, y explotación propiamente tal. Es necesario aclarar que la demanda como elemento crítico ya fue abordado de manera más amplia en el punto 3.3 del "Capítulo 3: Planificación", por lo que en esta sección, sólo se mencionará como parte de los puntos a considerar en la ruta crítica a considerar.





6.1. Diseño del Modelo Operacional

En diversos proyectos, no necesariamente de transporte masivo, es esencial considerar las actividades de la operación desde un inicio. Es así como en esta Guía, permanentemente se ha hecho mención a la importancia de las definiciones en el diseño, pues permite efectuar un plan de obras y valorizar un presupuesto acorde que lleve a buen puerto el emprendimiento.

Desde la discusión amplia sobre qué se debe tomar en cuenta para que un proyecto tenga un resultado exitoso, se llega a consenso que las actividades a considerar son las que se muestran en la Figura 6.1.

Figura 6.1
"Actividades del Modelo de Operación a considerar en la etapa de diseño"



Fuente: ALAMYS.

6.1.1. Antecedentes básicos

Para desarrollar un adecuado Modelo de Explotación de la línea en esta etapa de diseño operacional, normalmente se utiliza como buena aproximación el nivel de demanda calculado para el primer año de puesta en marcha. Con lo anterior, es posible diseñar los requerimientos de equipos y sistemas que permitan el estándar definido, sea por el Grado de Automatización, sistemas de señalización, pilotaje y comando, zonas habilitadas para el estacionamiento de trenes y enlace, entre otras líneas, en caso de existir.

También, una de las definiciones necesarias para diseño es contemplar desde el inicio el horario de explotación en día hábil normal y, eventualmente, una menor extensión los días sábados y festivos. Del mismo modo, es relevante establecer la velocidad límite de la operación (normalmente se diseña para 80 km/h).

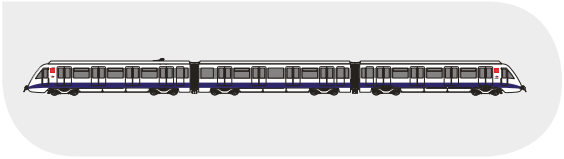
Otro de los supuestos de entrada corresponde al intervalo de operación y el estacionamiento nocturno de trenes, sea en espacios habilitados en línea, estaciones terminales, cocheras y/o en las propias estaciones.

6.1.2. Material Rodante

A partir de las definiciones o supuestos básicos se debe establecer el Material Rodante, considerando el nivel de demanda, intervalo, longitud de la línea, y otras variables adicionales del proyecto. En esto, su determinación debe pasar por la estandarización, en que longitud, ancho y capacidad son las claves para una adecuada consistencia entre supuestos de explotación y capacidad de infraestructura de obras civiles, equipos y sistemas.

Figura 6.2

"Ejemplo de Material Rodante: serie 8000 1ª de Metro de Madrid"



Fuente: Metro de Madrid.

Desde la perspectiva anterior, uno de los parámetros a relevar en Material Rodante es el estándar de diseño de éste, en que la capacidad se asocia a la densidad permitida en el proyecto, medido en pas/m^2 [15]; y, en ello, no hay necesariamente una definición única. Lo que normalmente se concluye es aceptar las condiciones determinadas por el fabricante, que en general para Latinoamérica sugiere 6 pas/m^2.

15 Pasajero por metro cuadrado.

6.1.3. Condiciones de operación y Grado de Automatización

Otros de los elementos relevantes en el Modelo de Explotación, son las condiciones de operación de la línea: si se desarrollará una operación de terminal a terminal, operación en bucle, o una operación "expresa", etc.

Las condiciones resultantes para el diseño dependen de los parámetros ya mencionados anteriormente, para lo cual es clave la definición de demanda esperada del proyecto, así como el estándar de servicio, lo que finalmente lleva a la condición de velocidad comercial y a la de operación de la línea.

Bajo las condiciones que se llegue a especificar, se tendrá entonces la flota operacional y, con ello, también será posible definir las condiciones de Material Rodante de reserva para la operación, o de mantenimiento.

Se mencionó que esta determinación es una de las actividades críticas del proyecto, ya que rigidiza muchos de los elementos en relación a equipos y sistemas, y fija las condiciones resultantes para las obras civiles, que no tienen posibilidad de cambiar una vez definida esta. Así, es clave que esta tarea sea desarrollada por empresas de ingeniería que cumplan con los requisitos técnicos y experiencias contrastadas, puesto que se deberá decidir cuál tipo de línea se desea construir.

Como parte de esta definición, es fundamental optar por el Grado de Automatización teniendo presente el punto de vista de los costos de implementación, aun cuando se ha establecido que a mayor automatización, aumentan también los niveles de seguridad.

La ruta crítica es decidir cuál será el Grado de Automatización de la conducción de trenes, puesto que desde ahí se definen los restantes sistemas integrales, que básicamente corresponden a los sistemas de señalización y a los centralizados de monitoreo y control.

Así, es significativo recordar que existen cinco categorías de automatización (Grade of Automation: GoA, por su sigla en inglés), clasificadas en función de la participación del factor humano y de su complementación con los sistemas automáticos, desde la completa interacción del conductor en el movimiento del tren, hasta llegar a no requerir conductor. Éstas corresponden a:

- *GoA 0:* es el más básico de todos los niveles, quedando todo bajo la responsabilidad del conductor, sin limitaciones de velocidad o de protección de las señales.
- *GoA 1:* tanto los equipos de terreno, como los del tren, cuentan con algún tipo de automatismo para proteger los movimientos del tren. Por ejemplo, establecen el límite de la velocidad máxima.
- *GoA 2:* el tren es capaz de circular por sí solo sin intervención humana, arrancando, adecuando la velocidad a la marcada por el control del tráfico y deteniéndose en la estación. Pese a ello, sigue existiendo la figura del conductor, que se encarga de las operaciones de intercambio de pasajeros, de informarles sobre incidencias, y supervisa en todo momento la conducción, haciéndose responsable de ella si la operación automática no está disponible puntualmente. A menudo se utiliza también la sigla anglosajona STO (Operación Semiautomática del Tren, en español) para designar este tipo de operaciones. Es el nivel más frecuente en las redes de ferrocarril metropolitano, y se destaca que aquí caben soluciones de cantón móvil; de cantón fijo, pero con funcionalidad de Operación Automática del Tren (ATO); o CBTC: Communications-Based Train Control.
- *GoA 3:* el tren es capaz de operar de forma totalmente autónoma, aunque se sigue empleando personal a bordo. Éste se encarga de supervisar las operaciones de apertura y cierre de puertas; tareas comerciales y de atención al pasajero; y sólo ocasionalmente- en caso de avería en el sistema de conducción automática- asume la conducción del tren, en un modo degradado. Se designa bajo la sigla anglosajona DTO: Operación de Trenes sin Conductor, en español.
- *GoA 4:* es el nivel máximo de automatización, en el que toda la operación se hace sin ningún tipo de intervención humana. En él, todos los sistemas están integrados en un conjunto formado por la señalización en vía, los mecanismos que protegen a ésta de la intrusión de terceros o viajeros, el Material Rodante y el Centro de Control del Tráfico, que se encarga de operar todos estos elementos de forma integral. Sólo alcanzando éste nivel se puede calificar una línea como un auténtico sistema de operación de trenes sin supervisión (o “UTO”, en inglés).

Toda esta categorización suele aplicarse a sistemas ferroviarios metropolitanos, aunque es extensible sin dificultades a cualquier otro sistema ferroviario, de media o larga distancia. No obstante, la constitución de los niveles superiores de automatismo depende no sólo del sistema de control, sino también de la implantación de medidas adicionales que garanticen la total seguridad y consistencia de la operación. Así, un GoA 4 hace imprescindible la instalación de puertas de andenes (Figura 6.3), que evitan la caída de personas a las vías y hace que las operaciones de transferencia de pasajeros se realicen en las mejores condiciones de seguridad.

Otra definición relevante es el nivel de automatismo que se desea tener en las estaciones para la atención a los clientes, donde juegan un

papel central las máquinas expendedoras de boletos, por ejemplo.

Con todo, los grados de automatización de una línea se deben definir, en principio, de acuerdo a los siguientes criterios de evaluación:

- Económicos.
- Calidad de servicio.
- Vulnerabilidad.
- Funcionales a la operación.

Figura 6.3

"Puertas de Andén en estación de línea 4 del Metro de São Paulo, operada por ViaQuatro"



Fuente: ALAMYS.

6.1.4. Patrones de circulación

En término generales, e independiente del modelo de operación a aplicar diariamente, es extremadamente útil y necesario mantener la flexibilidad operacional que permita aumentar la oferta de transporte en horarios de mayor demanda.

Entre estas medidas, se recomienda estudiar y definir si se utilizarán algunas estrategias de operación, tales como: operación "expresa" (alternando estaciones en la parada del tren); retorno anticipado de trenes en estaciones de maniobra, ya sea de manera programada (bucles), o según demanda (inyecciones); el envío de trenes vacíos desde los terminales a estaciones intermedias; y/o el traspaso de trenes entre líneas existentes- de tener compatibilidad y enlace- en horario de explotación.

Dadas las características de las líneas, se pueden definir distintos esquemas de operación nominal, los cuales son posibles de combinar para elevar el nivel del servicio entregado, utilizando sólo los elementos básicos de éstas.

6.1.4.1. Operación básica

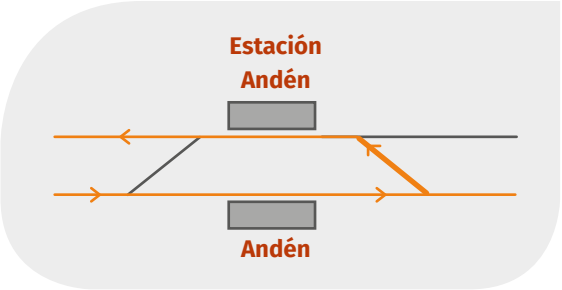
En general, una "maniobra" corresponde a una operación de terminal a terminal en combinación de movimientos, los cuales- en el caso de estaciones terminales- se combinan con movimientos a través de aparatos de cambio de vía para dar origen a dichas maniobras. En un primer nivel, los movimientos de terminales se pueden desglosar en dos tipos: Maniobra Adelante o Ante Estación y Posterior o Tras Estación.

Maniobra Posterior o Tras Estación

Esta maniobra corresponde a cambiar el sentido de la marcha del tren utilizando la Cola o Andén de Maniobras en la misma estación. Para estos efectos se ocupa el aparato de cambio de vía mostrado en la siguiente figura:

Figura 6.4a

"Esquema de Maniobra Posterior o Tras Estación"



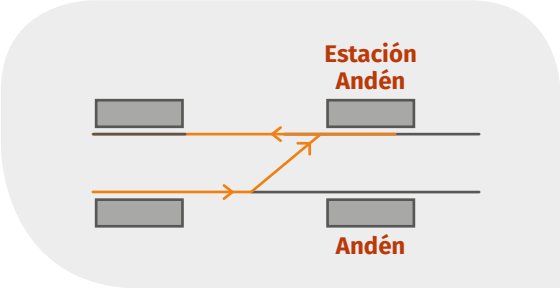
Fuente: Metro de Santiago.

Maniobra Adelante o Ante Estación

Con este movimiento se cambia el sentido de la marcha del tren, utilizando el aparato de cambio de vía situado antes del ingreso de la estación, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6.4b

"Esquema de Maniobra Adelante o Ante Estación"



Fuente: Metro de Santiago.

Dependiendo de la configuración de los cambios de la estación intermedia elegida para realizar el bucle, el cambio de vía se realizará con una Maniobra Ante o Tras Estación, utilizando ya sea una zona de "maniobra tipo" o una vía auxiliar. De esta forma, podemos decir que una estación de bucle es una forma de terminal intermedio.

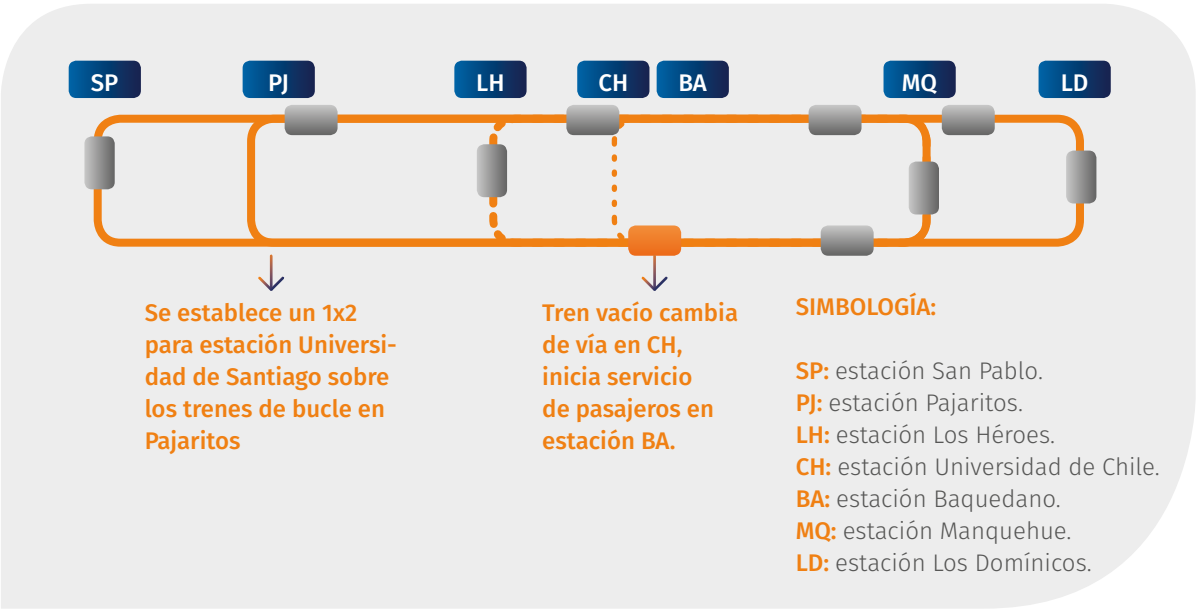
6.1.4.3. Esquema de operación con inyección

La inyección de trenes es una maniobra no necesariamente programada, que consiste en insertar unidades adicionales en una estación determinada. Esta adición de oferta puede realizarse de dos formas:

- Traslado de tren sin pasajeros desde un terminal, hasta la estación desde la cual se ha decidido iniciar el servicio.
- Realización de bucle no programado en una estación intermedia, dotada de Zona de Maniobras.
- Inyección de trenes desde otras líneas, a través del enlace en caso de existir interoperabilidad.

Figura 6.5

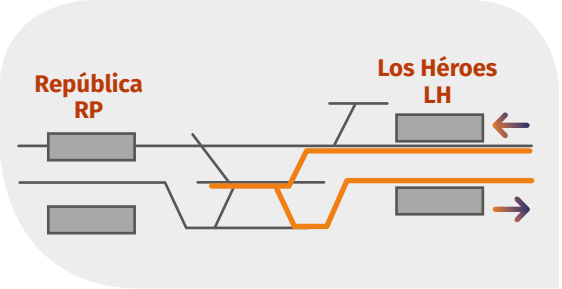
"Ejemplo de operación con bucle en Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

Figura 6.6

"Esquema de operación con inyección"



Fuente: Metro de Santiago.

6.1.4.2. Esquema de operación con bucle

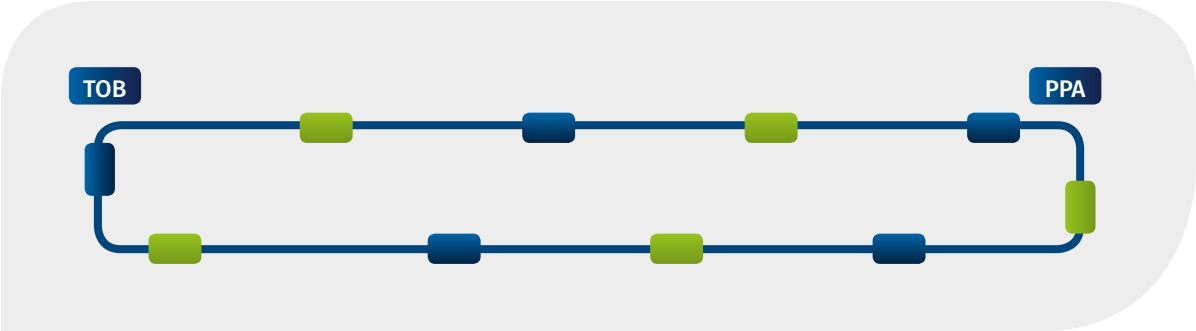
El "bucle" es una operación programada mediante la cual uno o más trenes realizan recorridos cortos, sin llegar necesariamente hasta los terminales, invirtiendo su sentido de marcha a través de un aparato de vía contiguo a una estación intermedia (ver Figura 6.5).

6.1.4.4. *Esquema de operación "expresa"*

La operación "expresa", desarrollada por Metro de Santiago y utilizada en al menos tres de sus líneas, consiste en recorrer la línea- en una misma vía- saltándose algunas estaciones. Esta alternativa se caracteriza por ofrecer una mayor velocidad para llegar a destino, por el hecho de no detenerse en cada parada.

Figura 6.7

"Esquema de operación 'expresa', línea 4 de Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

6.1.5. *Modos degradados*

Es importante definir, también, los modos degradados de operación posibles de aceptar en el proyecto. Esto, con el objetivo de dar respuesta oportuna a los pasajeros ante incidencias en la línea. Si bien son maniobras excepcionales, las características y forma de su realización son relevantes de considerar.

6.1.5.1. *Socorro de trenes*

En caso de que un tren necesite socorro de otro tren, estos deberán permitir el enganche, para poder continuar su marcha hasta el lugar elegido para estacionamiento ante el imprevisto.

6.1.5.2. *Servicios parciales*

En los casos en que ocurre algún incidente en la línea que conlleve la no realización de servicio en esa zona, se ejecutan los llamados Servicios Parciales (SP). Para su realización, se debe escoger una estación que cumpla las condiciones para realizar un retorno; es decir, que pueda realizar las funciones de terminal intermedio. El (los) circuito(s) formado(s) entre la(s) estación(es) de servicio parcial escogida(s) y el terminal respectivo, no debe contener la zona de incidente.

6.1.6. *Movimiento de trenes con dirección a talleres*

Una característica de los trenes que realizan un viaje con dirección a talleres, es que no efectúan un servicio de pasajeros, por lo que tampoco se detendrán en estaciones. A pesar de esto, podría suceder que el tren requiera trasladarse allá mientras opera con usuarios, en cuyo caso- dependiendo de la gravedad del incidente- se debe evacuar a los pasajeros en alguna estación intermedia o completar el viaje hasta el terminal, para luego determinar el movimiento de dirección a talleres.

6.1.7. *Zonas de Maniobra*

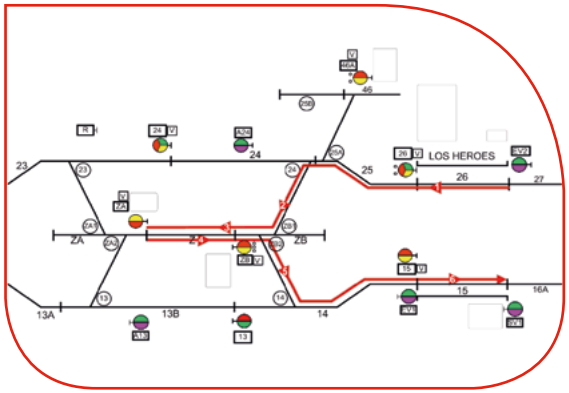
Dadas las características que se quiera dar a la línea, en términos de flexibilidad y respuesta a incidentes, es posible que se requiera Zonas de Maniobra en la línea. Su definición debe ser realizada de manera que su impacto en el servicio permita conferir un grado de mejora ante coyunturas. Para ello, destacamos la constitución de Vía Z y Vía de Enlace.

6.1.7.1. *Vía Z*

La vía Z es una vía secundaria que se encuentra inserta entre las principales, que tiene la característica de permitir la realización de retornos de trenes sin impedir su circulación normal.

Figura 6.8

"Esquema Vía Z en estación Los Héroes de línea 1 de Metro de Santiago"



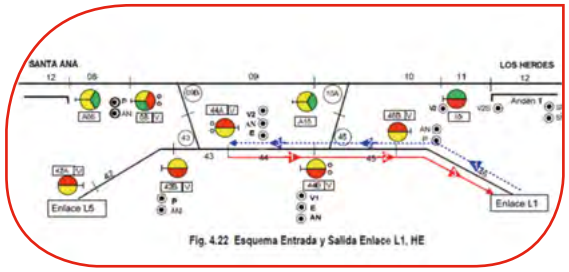
Fuente: Metro de Santiago.

6.1.7.2. *Vía de Enlace*

Esta es una Zona de Maniobra, que sólo es viable en situaciones donde existe más de una línea. Se trata de una vía secundaria que conecta dos líneas entre sí, permitiendo la interoperabilidad y aumentando la resiliencia de la red ante disrupciones, al distribuir material rodante desde una línea a otra. Desde esta perspectiva, se debería considerar en el Modelo Operacional, siempre estando sujeta a que exista otra línea o que se defina en esta etapa, una futura.

Figura 6.9

"Esquema de Vía Enlace en estación Los Héroes de línea 1 de Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

6.1.8. *Centro de control*

6.1.8.1. *Centro de Control Operacional (CCO)*

De manera importante, la operación de una línea requiere un Control Centralizado de la Operación, además de manejar funciones según la organización que se defina y con las herramientas apropiadas. En este contexto, básicamente lo que se desea es comandar y controlar el tráfico de los trenes, los sistemas de distribución de energía, asegurar la información a pasajeros y supervisar las estaciones.

Figura 6.10

"Centro de Control de Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB)"



Fuente: TMB.

Con este objeto, se requiere contar con un Centro de Control Operacional (CCO), que permita una adecuada ejecución de las siguientes funciones:

- Sistema de control de tráfico.
- Sistema de control de estaciones.
- Sistema de control de energía.
- Sistema de control de comunicaciones.
- Sistema de control de seguridad.
- Sistema de gestión y supervisión del mantenimiento.
- Coordinación con otros sistemas.
- Entrenamiento continúo en sitio (consolas de entrenamiento).

El CCO debería estar integrado, adicionalmente, por las siguientes funciones necesarias para la adecuada gestión de la operación en todo momento.

6.1.8.2. *Centro de Control Operacional de Respaldo (BCCO)*

Éste, es necesario ante la imposibilidad de operar la línea desde el CCO donde- en principio- se debe definir la existencia de un centro *backup* ubicado en otro recinto, y que se habilite para cumplir todas las funciones del CCO. Esta es una labor relevante y esencial en la operación de una línea, y se debe procurar en todo momento un respaldo que- al menos- cuente con las funcionalidades críticas que permitan desarrollar el control de la operación con total seguridad.

6.1.8.3. *Centro de Coordinación General (CCG)*

Es significativo que, al existir una red (sistema de más de una línea metroferroviaria), se cuente con un Centro de Coordinación General (CCG) que vele por el equilibrio de la misma, gestionando todas las líneas en operación (convencionales o automáticas).

6.1.8.4. *Sala de Coordinación General (SCG)*

Tiene como principal objetivo coordinar los eventos y/o incidentes de distinta criticidad que afecten la operación normal de la red. En todos aquellos casos en que alguno de los centros de control (CCO) no puedan solucionar la totalidad de un evento por sí solos, la SCG tomará decisiones al respecto, con una visión de red.

6.1.8.5. *Sala de Contingencias (SC)*

Esta función se activa en situaciones de emergencias, ya sea en algún evento mayor que ponga en riesgo el servicio o cuando genere un alto impacto en la línea y/o el sistema de transporte.

6.1.8.6. *Sala de Comunicaciones*

Esta función permite separar la contingencia en sí con la necesidad de estar informando sobre la misma a pasajeros, medios de comunicación y opinión pública en general. Esta dependencia permite, sin interferir en el desarrollo de la solución a la coyuntura operacional, mantener actualizados a estos públicos, validando oficialmente todo lo que se difunda en dicha sala.

6.1.9. *Seguridad operacional*

Para desarrollar un exitoso proyecto en la operación, es importante contar con requerimientos RAMS[16] para cada uno de los sistemas que se definen dentro del alcance de este tipo de iniciativas metroferroviarias, lo que permitirá diseñar elementos fiables y altamente seguros de acuerdo a los estándares internacionales.

RAMS es una característica deseable de un sistema ferroviario, que se alcanza mediante la aplicación de conceptos largamente estudiados y establecidos de ingeniería, metodologías, herramientas y técnicas durante todo el ciclo de vida del proyecto. Es una interrelación de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, siendo un indicador cualitativo y cuantitativo que muestra el nivel de confiabilidad de que el sistema, subsistemas y componentes que lo forman, funcionarán tal como se especifican y, a la vez, estarán disponibles y serán seguros durante su explotación.

Junto con lo anterior, se deben especificar los requerimientos que aseguren la calidad del proyecto a lo largo de todo su desarrollo, mediante pruebas y ensayos, controles, calibración de equipos, reportes de avances, gestión de observaciones, documentación, comunicación, recepción, auditorías e inspecciones.

16 Acrónimo en inglés: *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* (Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad).

6.2. Etapa de Puesta en Marcha

Una vez realizada la etapa de definiciones del Modelo de Operación y, posteriormente, la ejecución de la infraestructura, suministro y del montaje de equipos y sistemas, corresponde la recepción provisional de éstos, que se ejecuta principalmente revisando todos los aspectos de la instalación que están incorporados en las especificaciones técnicas, tales como: alineación de equipos, condiciones de anclaje y torque de los elementos, aspectos del tendido de cables, funcionalidades, etc.

En este contexto de recepción provisional, se desarrollan las pruebas de los equipos y sistemas, que se iniciarán una vez que se curse el Certificado de Conformidad de la Instalación. Éste, se generará una vez terminado el ensamblado, con la participación y aprobación directa de la supervisión técnica y de los representantes de la empresa mandante.

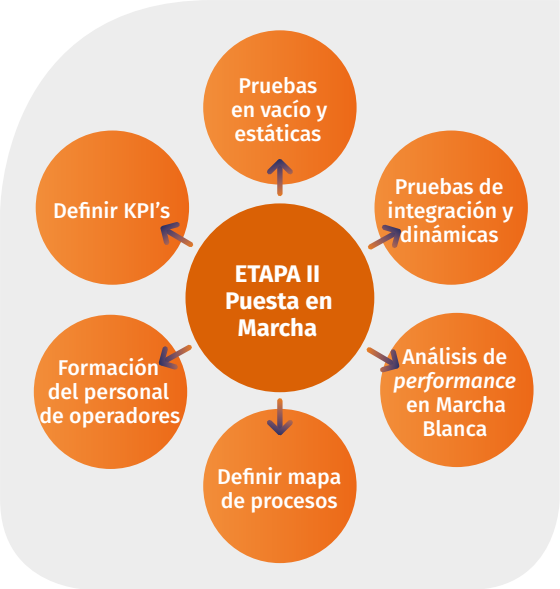
Adicionalmente, especial atención deberá tener la verificación de seguridad, como son los niveles de aislamiento y puesta a tierra de los equipos de sistemas eléctricos, lo que permitirá proceder a su alimentación eléctrica sin poner en riesgo personas ni equipos.

Se deberá revisar, verificar y controlar el avance, calidad, cumplimiento de normas de diseño, etc., del proyecto elaborado por el proponente; por ejemplo, inspeccionando que los estudios de ingeniería estén basados en normas internacionales y nacionales vigentes, entre otras variables.

La Figura 6.11 muestra, en términos generales, las tareas que se deben desarrollar para cumplir con el objetivo en la etapa de Puesta en Marcha. A continuación, en las secciones siguientes se describe cada una de ellas.

Figura 6.11

"Actividades para la Puesta en Marcha de un proyecto metroferroviario"



Fuente: ALAMYS.

6.2.1. *Pruebas funcionales en vacío y estáticas*

Esta actividad requiere de estándares definidos para su realización. Se debe determinar, por tanto, los protocolos asociados a estas pruebas que indicarán los instrumentos y herramientas que se utilizarán, el personal calificado que procederá, así como el registro de los testeos para corregir o modificar lo requerido para aprobar las pruebas en vacío o estáticas. También, estos procedimientos deben señalar las medidas de seguridad que se requerirán, sobre todo aquellas que se expliciten en las normas nacionales o internacionales, bajo las cuales se realizarán los ejercicios.

Para desarrollar los ensayos funcionales por equipo, se debe revisar- previamente y con la anticipación necesaria- todos los reglamentos descritos en los cuadernos de pruebas, como también los insumos de medición y comunicación que se precisen para completar todo el set de sondeos.

Será condición que dichos protocolos- entregados por los contratistas- requieran energización de equipos, ya sea en baja o alta tensión, corriente alterna o corriente continua.

El set de pruebas permite asegurar el cumplimiento de las especificaciones funcionales y técnicas, y confirmar que cada subsistema considerado individualmente, funciona correctamente y está en condiciones para interconectarse con los otros.

Si existen anomalías en este punto, se deben apuntar en una ficha para su seguimiento, y así garantizar la trazabilidad de las pruebas del equipo hasta que sea ejecutada la solución definitiva que elimine el error. Este registro debe ser ingresado a un sistema informático y procesador de datos, que tiene que disponerse para estos efectos.

La clasificación de las irregularidades normalmente se regirá por las siguientes condiciones:

- *Anomalías bloqueantes:* afecta la disponibilidad del equipo; es decir, éste se detiene después de un tiempo de funcionamiento o inmediatamente no opera al comandar la Puesta en Marcha.
- *Anomalías graves:* resiente las labores de la maquinaria, pero no descontinúa el trabajo. Sin embargo, el comportamiento es distinto al definido en las especificaciones.
- *Anomalías leves:* no cumplen ciento por ciento con lo determinado, aunque no perturba la disponibilidad ni la maniobra del sistema.

La organización de los testeos se realizará en estricta coordinación con el contratista, basada en las restricciones registradas en los ya mencionados protocolos, de tal forma de tener plena compatibilidad con las instalaciones que se encuentran en operación para no producir riesgos o degradaciones con otros subsistemas en servicio.

Los ejercicios que representen riesgos para las personas, tienen que ser programados mediante procedimientos de trabajo seguro. Éstos, deberán ser preparados por el personal técnico de los contratistas, y aprobados por el Sistema de Control de Calidad y el área de Prevención de Riesgos.

Asimismo, contendrán- a lo menos- un detalle de los ensayos que serán realizados, la descripción de equipos y herramientas a utilizar, riesgos asociados, medidas de seguridad requeridas, y las indicaciones sobre qué hacer frente a un caso de emergencia, explicitando los teléfonos de contacto de las personas responsables.

Además, se deben exigir los Certificados de Calibración de todos los elementos que se utilizarán para la realización de las pruebas, y verificar que cuenten con certificaciones vigentes.

En conjunto con los contratistas y representantes del mandante, hay que calendarizar con minuciosidad los ejercicios, estableciendo días y horarios fijos. Esta programación será utilizada para difundir y restringir el acceso a sectores que se vean afectados por las pruebas, de tal forma de prevenir accidentes. Especial atención se dará a testeos de energización de catenarias, cables de alta y baja tensión, y en subestaciones.

6.2.2. *Pruebas funcionales de integración y dinámicas*

Con la etapa de ensayos de vacío y estáticas cumplidas, se debe continuar con las pruebas de integración de los subsistemas y sistemas definidos en su entorno, y que están determinadas por las interfaces directas que éstos poseen.

Aquí, recobra relevancia el control de la intercomunicación de todos los elementos- especialmente en el de montaje-, pues éste tiene relación con los diferentes sistemas que se interconectan, ya sea con motivo de un requerimiento físico (canaletas de pasadas de cables, gálibos dinámicos del tren con elementos instalados en las vías, accesos a la energía eléctrica, etc.), o aquellos que corresponden a la transferencia de datos e informaciones.

La gestión de interfaces debe estar considerada al menos a las siguientes verificaciones:

- Interfaz interna de un sistema.
- Interfaces entre sistemas.
- Interfaces entre sistemas y obras civiles.
- Interfaces con una entidad externa al proyecto.

Para la organización de las pruebas de integración, la oficina o área técnica de la supervisión tendrá una participación e involucramiento activo en la programación y en el desarrollo de los ejercicios mencionados. Principalmente, se debe velar por la compatibilidad de todo lo que se quiere probar, y coordinar aquellas tareas que optimicen recursos; es decir, las que- para una determinada prueba de algún equipo especifico- se puedan medir con otros elementos que se comunican con éste.

Por otra parte, especial relevancia deben tener las pruebas de integración de los sistemas y equipos

que tienen interfaz con la circulación de los trenes, que corresponden a:

- Material rodante.
- Sistema eléctrico.
- Equipamiento de señalización.
- Sistemas de vías, etc.

La aceptación del funcionamiento dependerá de las pruebas dinámicas que se realicen con trenes y con los sistemas.

En este concepto, normalmente se clasifican en dos niveles:

- Las que verifican el funcionamiento del sistema con su entorno.
- Las que permiten revisar los requisitos planteados en las especificaciones técnicas, para los parámetros de la operación y de mantenimiento.

Al respecto, la supervisión técnica será responsable de la organización de estos testeos, que determinarán:

- El ingreso individual y progresivo de los trenes.
- El requerimiento de los recursos y condiciones previas.
- Los principios de los ensayos y los criterios asociados al funcionamiento.
- Las condiciones mínimas de aprobación de la prueba, y las básicas de suspensión de la misma.
- Las consideraciones de seguridad a aplicar durante los testeos dinámicos.

Cada experiencia debe ser comunicada al mandante del proyecto, a través de informes especialmente preparados, indicando todos los resultados obtenidos y las condiciones de no cumplimiento de los estándares que se hayan detectado.

La recepción provisional de un sistema se realizará una vez levantadas todas las reservas de la categoría de "anomalías mayores", mediante la comisión establecida por el mandante que incluye la supervisión técnica y la firma del acta respectiva.

Una vez completadas todas las pruebas de integración, y realizada la recepción provisional de los sistemas, se procederá a la Marcha Blanca.

6.2.3. *Análisis de performance en la Marcha Blanca*

La concepción básica de la Marcha Blanca es realizar la operación de la línea sin pasajeros, con todas las condiciones que fueron establecidas en la Ingeniería de Detalle, y a través de las especificaciones funcionales. Su inicio estará sujeto a la emisión de todas las autorizaciones emanadas por los equipos de seguridad del proyecto.

Los certificados de seguridad serán revisados y aprobados por la supervisión técnica, con el propósito de lograr- en el plazo programado- las autorizaciones previstas.

Se debe verificar, antes de la puesta en operación comercial, que el contratista haya obtenido los certificados de habilitación ferroviaria del Material Rodante, emitidos por la autoridad competente definida para tales efectos.

Adicionalmente, se debe establecer una serie de indicadores claves de desempeño (KPI's) con los que se revisará y ajustará el sistema completo a los parámetros operacionales establecidos. Los principales, son:

- Intervalo mínimo posible entre trenes (segundos).
- Tiempo de recorrido por cada una de las vías y el de la vuelta completa (minutos y segundos).
- Tiempo de parada en estaciones intermedias y terminales (segundos).
- Velocidad máxima y comercial (km/hr).
- Marchas tipo, combinación de tiempos de recorridos y de detención (minutos y segundos).
- Modos de conducción, en régimen y degradadas.
- Señalización de espaciamiento y de maniobra.
- Mando, control del tráfico y de los equipos.
- Comunicaciones operativas, calidad, tiempos y respuestas por zonas.
- *Performance* de confort relativa al frenado, aceleración, en curvas y pendientes (*Jerk*).

Realizadas las pruebas, se debe emitir la aceptación de cada uno de los trenes, para continuar con la etapa siguiente: incorporación a la operación comercial.

6.2.4. *Definición de mapa de procesos*

La organización debe establecer el mapa de procesos que regirá la gestión operacional de la empresa. Para ello, debe documentar, implementar y mantener un sistema de gestión que permita mejorar continuamente los niveles operacionales, de acuerdo a los estándares que se definan en los KPI's.

Así, se debe determinar los procesos necesarios para el sistema de gestión operacional y su aplicación a través de la vida del proyecto, entendiendo que serán esos procedimientos los que regirán las acciones operacionales.

En este contexto, lo que se debe determinar en primera instancia es la secuencia e interacción de estos procesos, y establecer los criterios y métodos necesarios para asegurar que tanto la operación, como el control, sean eficaces.

Luego, se ejecutará el seguimiento, la medición cuando sea aplicable, y el análisis respectivo de lo hecho, así como también la implementación de las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados.

Con todo, se tienen que fijar las competencias necesarias para el personal que realiza estos trabajos y, cuando sea aplicable, corresponderá capacitarles para lograr la competencia necesaria, evaluar la eficacia de las acciones tomadas, y asegurarse de que los trabajadores están conscientes de la pertinencia e importancia de sus labores, y de cómo contribuyen al logro de los objetivos de la calidad.

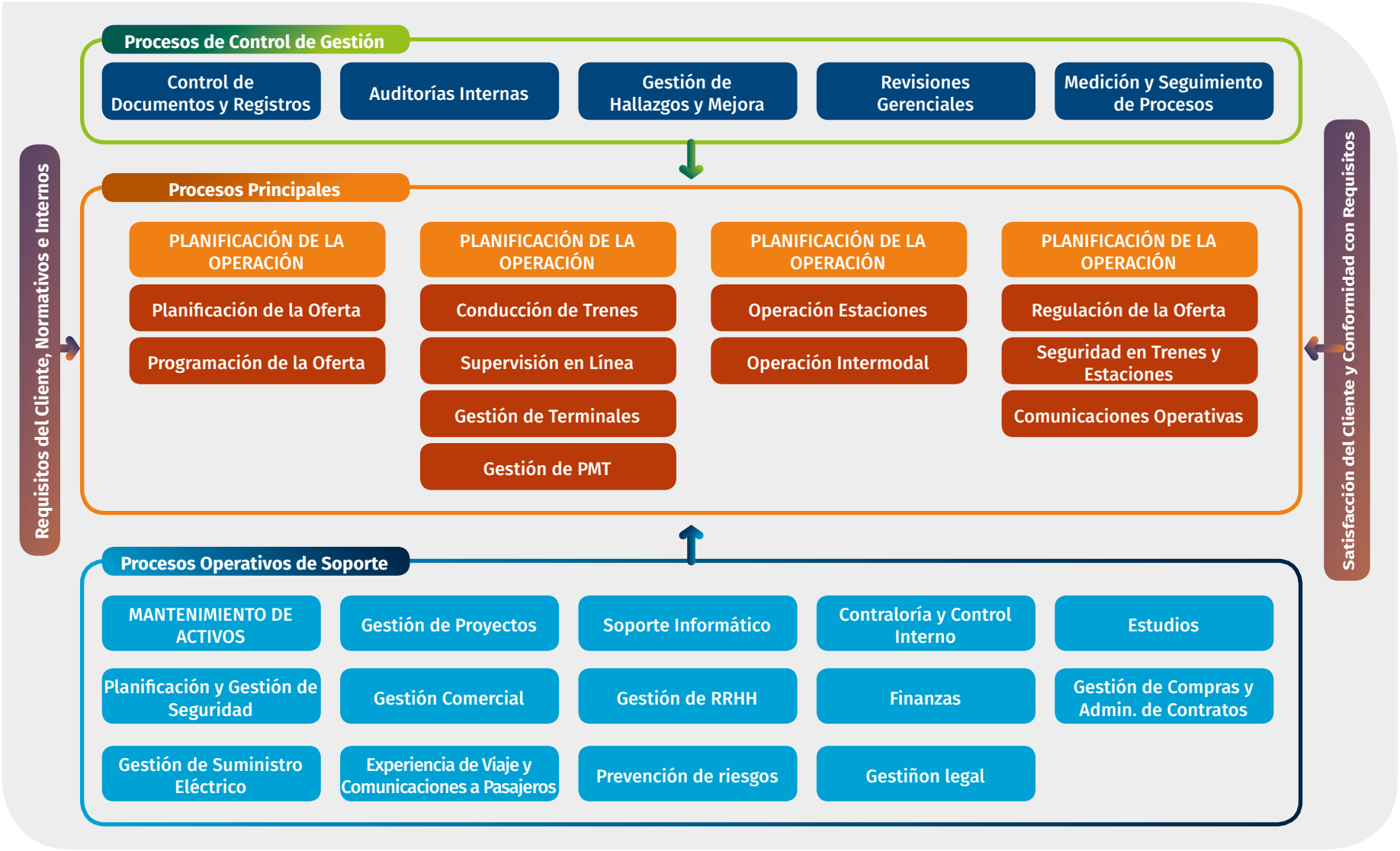
En la Figura 6.12 se entrega de manera general un ejemplo de mapa de procesos, donde se aprecia la relación de los principales, de control- donde se definen KPI's de desempeño-, así como los procesos de apoyo necesarios para cumplir la labor central.

- *Procesos de control de gestión:* es un procedimiento administrativo que sirve para evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos organizacionales previstos por la dirección.
- *Procesos principales:* permiten generar el servicio central que se entrega al cliente. La existencia de las organizaciones de metro sólo tiene sentido si satisfacen las necesidades de los usuarios. En base a la gestión correcta de estos procesos, considerando sus requisitos, identificación y definición, se consiguen los objetivos establecidos.
- *Procesos operativos de soporte:* abarcan las actividades de apoyo que se precisan para el correcto funcionamiento de los procesos principales.



Figura 6.12

"Ejemplo de mapa de procesos de la operación"



Fuente: ALAMYS.

6.2.5. Formación del personal

La calidad y seguridad en el servicio son los objetivos claves durante la operación comercial en un sistema metro. Estos aspectos son especialmente críticos durante la Puesta en Marcha. Para obtener resultados de acuerdo a los objetivos claves, es necesario cumplir los procedimientos y desempeñar las tareas profesionales de los diferentes puestos de trabajo, con las destrezas y conocimientos necesarios en cada caso.

Así, es necesario formar convenientemente al personal, tanto en las etapas iniciales, como a lo largo de toda la vida profesional, con actualizaciones y entrenamientos continuados.

La formación perita es especialmente importante para los trabajadores de explotación, operación y mantenimiento- que representan la mayor fuerza laboral-, siendo un entrenamiento constante que, por su especialización, debe efectuarse normalmente en el interior de los metros.

Si esta capacitación no se efectúa con la eficacia y calidad que las actuales metodologías y nuevas tecnologías docentes nos ofrecen, se puede incurrir en tres efectos perniciosos y que se deben evitar:

- Excesivos gastos de formación por la utilización de metodologías presenciales pasivas, que no consiguen inculcar en los alumnos las necesarias habilidades.
- Riesgos de mal ejercicio que afecten la calidad y seguridad del servicio, ocasionando elevados gastos por averías o accidentes, y de imagen ante los clientes y opinión pública.
- Un uso innecesario de los trenes e instalaciones para actividades de formación, en lugar de ser utilizados para el servicio a los viajeros.

Frecuentemente, para redes de tamaño importante, la optimización de la capacitación se consigue mediante la implantación de centros de formación de la explotación, que cuentan con sistemas e instalaciones avanzados, y específicos para esta tarea.

Una muy buena práctica es la colaboración entre los departamentos punteros de la universidad, que desarrollan tecnologías avanzadas de simulación y de metodologías formativas avanzadas.





6.3. Etapa de explotación

En el inicio de la operación comercial (o explotación del servicio), es relevante tener una mirada integral y sostenible del negocio, con objetivos y resultados esperados a largo plazo, con lo cual se comienza la gestión de una nueva línea.

Con este marco, al igual que en la etapa de diseño de un proyecto de metro, ya sea antes de entrar en la operación de una línea y- considerando que entre la etapa de diseño, construcción, puesta en marcha y operación, puede pasar un largo periodo-, será necesario ajustar algunos parámetros asociados a la gestión misma de la explotación, siendo como primera tarea la revisión de las estimaciones de demanda a fin de tener la misma acción en el plan de operación.

En esta fase, teniendo la oferta de inicio de un proceso normal de operación, se debe también preparar para su ejecución- ante cualquier eventualidad- la gestión degradada del servicio, planes de emergencia, protocolos y sistemas de gestión de comunicaciones (ya sea en normalidad, como en contingencia), y la gestión de la energía, elementos que se describen de manera genérica a continuación.

Figura 6.13
"Actividades para la explotación de un proyecto metroferroviario"



Fuente: ALAMYS

6.3.1. Proceso de oferta y demanda

Es parte de este ajuste, como primer objetivo entonces, planificar la producción para el futuro de operación, con la finalidad de garantizar un servicio eficiente y de calidad, de acuerdo a los estándares de servicio definidos en el proyecto.

Adicionalmente, un segundo objetivo es la determinación de parámetros de servicio, ya en la explotación misma según:

- Distribución de flota para periodos punta, y períodos de horario valle, en donde se consideran variables como:
  - Frecuencia.
  - Nivel de oferta.
  - Densidad esperada.
- Presupuesto CKM, variable esencial para el Plan de Mantenimiento

Para cumplir con lo anterior, se deben realizar diversas actividades a partir del *input* de proyección de demanda. Con esta información se debe elaborar el estudio de asignación de flota, que acompañe los requerimientos de la demanda proyectada que iniciará la explotación del proyecto.

Estos resultados se pueden validar contrastando los márgenes que entregan los indicadores de densidad, intervalo, frecuencia respecto de los de diseño, etc. Se deben considerar en esta definición la flota de trenes de reserva para mantenimiento y reserva operacional.

La distribución o asignación de los trenes permite entregar las frecuencias en los periodos principales de operación de un día laboral, como para días sábados y festivos.

En referencia a lo anterior, se puede entender que los *inputs* principales de este proceso de ajuste corresponden a:

- Proyección de demanda.
- Estándares de calidad de servicio.
- Velocidades comerciales de las líneas en distintos periodos.
- Requerimientos de trenes (reservas, proyectos, etc.).
- Definiciones operacionales.
- Largos de las líneas.

El entregable de esta etapa es la planificación de la producción con la capacidad de entregar las proyecciones de:

- Distribución y asignación de flota para explotación.
- Presupuesto CKM.

Con esta información, se puede además establecer una estimación de los costos en que se incurrirá por conceptos de energía, mantenimiento de trenes- a partir de los planes de mantenimiento y CKM proyectados- y horas de conducción en lo que respecta al recorrido de los trenes.

6.3.2. Gestión degradada del servicio

La gestión degradada corresponde a las acciones de la operación ante eventos que causan impactos en los sistemas de explotación, afectando la calidad del servicio y a la infraestructura de la red.

Para enfrentar estas ocurrencias, se deben establecer protocolos escritos de actuación y procedimientos frente a cada una de ellas, en base a los impactos asociados y estableciendo las nuevas características de operación, incluyendo un análisis de riesgo para los niveles de seguridad, calidad y servicio.

Estas recomendaciones deberán incluir experiencias de otros operadores ferroviarios, que posean características similares a las líneas que se construirán, en cuanto al sistema de conducción y niveles de demanda.

Entre los eventos relevantes que pueden afectar la calidad del servicio y la seguridad de la red, están las situaciones de emergencia que se describen en el acápite siguiente.

6.3.3. Gestión de emergencia

En términos generales, la gestión de emergencias se espera sea muy similar entre los distintos tipos de proyectos de metro, y sus diferencias sólo corresponder a la especificidad propia del entorno y de cómo esté organizada cada empresa para manejar las crisis. Como

recomendación de esta Guía, se esboza una serie de elementos necesarios de incorporar en la Gestión de Emergencia, tanto de las consideraciones normativas globales como locales de cada país, como de los procesos metroferroviarios a considerar.

Como ámbito global, se propone diseñar un Plan Corporativo de Emergencias (PCE) en estaciones, trenes, túneles, vías, talleres y otras áreas, y debe contener las normativas para afrontar situaciones de emergencia en las redes de metro y subterráneos, conocido y difundido en toda la organización.

Cada proyecto debe elaborar el PCE en conjunto con las áreas directamente relacionadas a la operación, con una periodicidad adecuada según los cambios que presenta el funcionamiento del sistema, de modo tal de introducir las modificaciones que sean necesarias cuando se presenten circunstancias que lo justifiquen, como- por ejemplo- cambios en los procedimientos operativos, introducción de elementos de emergencia con nuevas tecnologías, modificaciones en la red o en la organización de la empresa, etc.

El PCE debe estar diseñado para afrontar situaciones que pueden poner en riesgo a las personas, las instalaciones, o los equipos, además de causar una alteración grave en el servicio de transporte. Entre ellas, se pueden señalar las siguientes:

- Emergencia por corte de energía.
- Emergencia por movimientos sísmicos.
- Emergencia por incendio.
- Emergencia por inundaciones.
- Emergencia por intento de suicidio.
- Emergencia por descarrilamiento o colisión.
- Emergencia por objetos abandonados y amenazas de atentados explosivos.
- Emergencia por filtración o derrame de productos peligrosos.
- Emergencia por actos de delincuencia (por ejemplo, asalto a boletería o taquilla).
- Emergencia por disturbios.

Cada empresa, de acuerdo con su entorno y cultura, tendrá una estructura que le permita gestionar con rapidez y eficacia cada situación de emergencia que se presente. En este ordenamiento debiera existir un conjunto de funciones y cargos definidos previamente. A modo de ejemplo:

- *Jefe General de Emergencias:* esta función idealmente será ejercida por quien se encuentre a cargo del puesto de comando central del sistema, quién coordinará las acciones a tomar para superarla. Una vez declarado el Estado de Alerta, las distintas áreas involucradas en los procesos tendrán que ponerse a disposición del Jefe General de Emergencias.
- *Jefe Local De Emergencias:* de acuerdo al tipo de incidente se definirá un Jefe Local de Emergencia, pudiendo ser:
  - Jefe de Estación: incidente en la estación (evacuación, incidentes varios, suspensión de venta de boletos, incendios).
  - Conductor: emergencia del tren en túnel, viaducto o estación.

En las estaciones, trenes, túneles o zonas de viaductos, y vías, se recomienda disponer de diversos elementos para afrontar situaciones de emergencia, los cuales- en general- están definidos en las reglamentaciones de seguridad de cada comunidad.

Al término de cualquiera de las emergencias descritas en el Plan, según las buenas prácticas de diversos metros en ALAMYS, se recomienda que el área encargada elabore un reporte que contenga detalles sobre el origen, desarrollo y consecuencias de la emergencia, así como las conclusiones, experiencias y recomendaciones que se puedan derivar, a fin de determinar si los procedimientos aplicados fueron los más adecuados, o si es necesario modificar las disposiciones vigentes.

Los reportes post-emergencia deberán incluir, entre otros y sin que ello implique limitación, los siguientes antecedentes:

- Identificación de la emergencia (sismo, incendio, inundación, suicidio, colisión, etc.).
- Lugar, fecha, hora de inicio y término.
- Personas afectadas (fallecidas, heridas, lesionadas).
- Instalaciones y/o equipos afectados.
- Antecedentes en caso de interrupción del servicio de transporte (si corresponde).
- Causa u origen de la emergencia.

- Personal de metro que intervino para superar la emergencia.
- Ayuda externa recibida.
- Elementos de emergencia utilizados.
- Aplicación del plan de emergencia.
- Dificultades encontradas.
- Observaciones y recomendaciones.
- Otros antecedentes relacionados con el desarrollo y superación de la emergencia.

De manera importante, es recomendable elaborar periódicamente un programa de simulacros de emergencias a ser desarrollado, procurando que cada ejercicio cubra una emergencia. En este simulacro deben involucrarse las áreas de operación, mantenimiento y de recursos humanos.

Una vez realizado uno de estos ensayos, se concluye con un reporte siguiendo los lineamientos que se hayan definido con anterioridad, para lo cual se podrán utilizar- además- los antecedentes propios de los que se puede disponer en un simulacro, como son las grabaciones en video y las anotaciones realizadas por observadores estratégicamente ubicados, de acuerdo con lo dispuesto en el plan previamente preparado para la realización del evento.

Sin duda, se deberán incluir en los programas de capacitación módulos de instrucción o de reciclaje (reentrenamiento), en los que participe el personal que le corresponda intervenir en situaciones de emergencia.

Finalmente, uno de los puntos centrales de una buena Gestión de Emergencias, es que el PCE deberá contener detallados procedimientos específicos, incluidas todas las situaciones esperables y cada uno de los recintos y actividades que se desarrollen, ya sea en túneles, vías, estaciones, talleres, en el entorno inmediato, etc., las que- sin ser exhaustivas- al menos deben contar con:

- Procedimiento ante persona(s) que cae(n) a la vía.
- Procedimiento frente a objetos abandonados u olvidados, o ante elementos peligrosos.
- Procedimiento general en caso de inundación.
- Procedimiento ante incendios.
- Procedimiento general frente a un terremoto.
- Procedimiento ante corte general de energía.
- Procedimiento de evacuación de un tren en plena vía.

6.3.4. *Gestión de comunicaciones operacionales*

En la fase de operación de una línea de metro, la gestión de las comunicaciones adquiere vital importancia, ya sea entre los diferentes participantes de la empresa en el proceso propiamente tal, o en las comunicaciones con los usuarios y/o con el entorno del sistema de transporte público.

A continuación, se presentan algunas consideraciones relevantes que deben estar contenidas en los sistemas de comunicaciones.

a) ***Redes de comunicación:***

- Análisis y diseño de redes multiservicio: elaboración y análisis de criterios de diseño de las redes. Especificación funcional. Presentaciones y análisis de tipos distintos. Soluciones específicas para metros. Estudiar la conveniencia de implementar redes de datos separadas e independientes para los sistemas de emisión crítica, y los sistemas informáticos estándar.
- Red multiservicios: diseño y arquitectura para la red multiservicios. Especificación de equipamiento del sistema.
- Red de comunicaciones y equipamiento portátil de estaciones: presentaciones y análisis de tipos distintos de redes, y de tipos de equipos portátiles para estaciones. Estudiar la conveniencia de implementar una red inalámbrica en espacios independientes para los sistemas de misión crítica y los sistemas informáticos estándar.
- Análisis y diseño de sistema de comunicación tren-tierra (orientado a la integración con los sistemas de equipamientos en estaciones): análisis del estado del arte e interfaces de los sistemas de comunicación tren-tierra orientados a metros. Estudio de la utilización de frecuencias de los distintos sistemas y compatibilidad con la normativa.

b) *Sistema de telefonía:*

- Sistema de telefonía administrativa: elaboración y análisis diseño del sistema de telefonía administrativa. Presentaciones y análisis de tipos de centrales telefónicas. Análisis de integración con otros sistemas. Análisis del estado del arte de los sistemas de telefonía orientados a metros.
- Análisis y diseño del sistema de telefonía operativa: elaboración y análisis diseño del sistema de telefonía operativa. Especificación funcional. Presentaciones y análisis de tipos de centrales. Análisis del estado del arte de los sistemas de telefonía orientados a metros.

c) *Sistema de radiocomunicaciones:*

- Elaboración y análisis diseño del sistema de radiocomunicaciones: especificación funcional. Presentaciones y análisis de tipos distintas soluciones en radiocomunicaciones en metros. Análisis de integración con otros sistemas. Análisis de integración con radiocomunicaciones de otras líneas existentes. Estudio de uso de frecuencias al interior del metro con relación a otros sistemas inalámbricos y compatibilidad con la normativa. Análisis de continuar utilizando las mismas frecuencias actualmente en uso, o cambio de nuevas frecuencias con su impacto legal. Análisis de cobertura y disponibilidad del sistema indicación de pruebas de recepción. Especificación de equipamiento del sistema. Especificación del sistema de monitoreo y control de los sistemas. Especificación del tipo de modelamiento de cobertura a solicitar.

d) *Sistemas de grabación de voz:*

- Análisis y diseño del sistema de grabación de voz: elaboración y análisis diseño del sistema de grabación de voz. Especificación funcional. Análisis de integración con otros sistemas.
- Especificaciones técnicas y funcionales del sistema de grabación de voz: diseño y arquitectura para el sistema de grabación de voz. Especificación funcional. Análisis de integración con otros sistemas.

e) *Sistema de información a pasajeros:*

- Análisis y definición de criterios de diseño para el sistema de información a pasajeros fijos y embarcados: diseñar y operar un sistema de información a pasajeros fijos y embarcados, mediante la realización de un estudio de alternativas para diferentes tipos de sistemas de información.

6.3.5. Gestión de energía

Tal vez el insumo más relevante de los proyectos metroferroviarios es la energía, la cual puede llegar a representar una fracción importante de los costos de explotación.

Asimismo, en la actualidad, las políticas de responsabilidad social han llevado a la actividad a comprometer, por un lado, el desarrollo planes de eficiencia energética y, por otro, a implementar el uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), en concordancia con las políticas energéticas de cada país.

Figura 6.14

"Proyecto Fotovoltaico El Pelícano (ERNC) que energiza a Metro de Santiago"



Fuente: Metro de Santiago.

En este sentido, el primer paso es que las empresas de metro cuenten con una política energética eficaz y sustentable.

Una vez formulada la política energética, se deben implementar acciones tendientes al desarrollo práctico de la misma, como, por ejemplo, la efectuada en Metro de Madrid desde 2012.

Respecto de la explotación de la nueva línea, la gestión de la energía debe ser consistente con los usos y consumos dentro de los distintos recintos donde se realiza la explotación del servicio. Además, se deben incorporar herramientas adecuadas de monitoreo, medición y control de la misma.

Dicho sistema debe considerar herramientas para lograr comandar y supervisar los estados y consumos de energía en estaciones, túneles y talleres, bajo criterios operacionales de gestión de eficiencia del insumo establecida en la política.

Así, es recomendable que se implementen medidores de energía distribuidos tanto en los tableros de distribución, como en los principales equipamientos que hagan un uso significativo de energía en las estaciones, talleres y edificios administrativos, tales como escaleras mecánicas, ascensores, ventilación, bombas, entre otros.

Los medidores deben permitir la monitorización y el análisis de los consumos de energía, segmentado por usos de ésta y por zonas, como estaciones, talleres y edificios.





6.4. Relaciones con la comunidad y Medio Ambiente

Durante la etapa de operación del proyecto, y dependiendo de los procesos de relacionamiento con la comunidad y análisis ambiental desarrollados en la etapa de planificación, se deberá llevar a cabo la implementación de los planes definidos.

6.4.1. Relaciones con la comunidad

Será clave gestionar la continuidad de las relaciones, evitando que la comunidad sienta que la empresa ha concluido su proyecto y se ha despreocupado de los problemas u oportunidades que puedan surgir.

El inicio de las operaciones de una nueva línea o instalación necesaria para el funcionamiento comercial, requerirá un sistemático trabajo de relaciones comunitarias, cuyo principal desafío es evitar "abandonar" la relación con los actores locales una vez terminado el proceso de construcción, capitalizando los lazos construidos con el entorno, y enriqueciendo el vínculo permanente con los vecinos y vecinas.

Es muy importante hacer el empalme al interior de la empresa entre los equipos sociales que participaron en la construcción y los de la operación, para fortalecer todo lo correspondiente a la formación de usuarios, que de antemano debe estar contemplado en el plan de gestión social del proyecto.

Para ello, es necesario generar mecanismos que permitan que el vínculo establecido durante todas las fases anteriores se mantenga en el tiempo, aunque tenga menor frecuencia e intensidad.

Así, las relaciones con la comunidad deberán ser consideradas como un ámbito más de la gestión de las operaciones.

Será relevante contar con una evaluación periódica de la comunidad acerca de los efectos, problemas y oportunidades que las operaciones tienen en su entorno, y también contar con mecanismos eficientes para su resolución.

Tabla 6.1

TAREAS
1. Gestionar la transición de la construcción a la operación.
2. Actualizar sistemáticamente la información acerca de los actores sociales relevantes para la operación.
3. Evaluar las percepciones de las personas de la comunidad acerca del desempeño de la empresa y sus contratistas.
4. Mantener el vínculo con municipios y comunidad, para la búsqueda permanente de oportunidades de coordinación, siempre en el marco de acción de la empresa.
5. Garantizar que los compromisos adquiridos en etapas anteriores, referidos a la operación, sean parte de la gestión y cuenten con un responsable para su ejecución.
6. Mantener activo el sistema de gestión de quejas y resolución de conflictos.
7. Diseñar e implementar nuevas estrategias de relacionamiento que permitan fortalecer las relaciones de confianza y el blindaje social, mitigando riesgos operacionales.

La medición de cada una de las acciones del relacionamiento con la comunidad permitirá mantener controladas las acciones que se realicen, generará bases de datos de monitoreo, y permitirá analizar el impacto de las acciones.

6.4.2. *Medio Ambiente*

En la etapa de operación del proyecto, se deberán ejecutar todas las medidas ambientales diseñadas en los estudios previos, a fin de dar cumplimiento a la legislación respectiva, considerándose al menos lo siguiente:

- *Plan de medidas de mitigación, reparación y compensación:* con el objeto eliminar, minimizar, reparar, restaurar o compensar los efectos ambientales adversos del proyecto.
- *Plan de prevención de contingencias y de emergencias:* a fin de controlar las eventuales situaciones de riesgo o contingencia identificadas.
- *Plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes:* ejecutar un sistema de control de cada una de las variables ambientales definidas. Por ejemplo: monitoreo de ruido y vibraciones, registro, manejo y disposición final de residuos, monitoreo del relacionamiento comunitarios, control de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, etc.
- *Implementación de planes y programas sustentables:* como los de eficiencia energética y uso de ERNC.





6.5. Conclusiones

Una vez que se curse el Certificado de Conformidad de la Instalación (construcción), y con la participación y aprobación directa de la supervisión técnica y de los representantes de la empresa mandante, se iniciarán las fases operacionales del proyecto, comenzando con la Puesta en Marcha, etapa en que son cruciales las actividades de pruebas funcionales, de integración y dinámicas, análisis y evaluación de *performance* de la Marcha Blanca, y la elaboración de mapas detallados de acciones y capacitación del personal a cargo de este proceso.

Durante la operación propiamente tal del sistema, se debe tener presente que el principal foco es el usuario, en el sentido de que es necesario cumplir con los estándares de calidad y las mejores prácticas de la industria, convirtiéndose en herramientas que permitan agregar valor mediante la mejora de la experiencia de viaje de los usuarios y la optimización del funcionamiento del transporte.

Además, es indispensable ajustar los estudios de demanda de servicios, modificando la operación a las condiciones cambiantes de la red intermodal y al crecimiento propio de la ciudad.

En relación al consumo de energía requerido, se recomienda diseñar e implementar planes de ahorro energético y, en lo posible, el uso de ERNC, apuntando a la sustentabilidad del proyecto.

Durante la operación, las relaciones con la comunidad estarán orientadas a mantener información sistematizada de los actores relevantes del entorno, evaluar la percepción de los vecinos y vecinas respecto de la calidad del servicio (a fin de adoptar las correcciones posibles), garantizar el cumplimiento de los compromisos en las etapas anteriores del proyecto, mantener activo el sistema de satisfacción de quejas y resolución de conflictos y, finalmente, implementar nuevas estrategias de relacionamiento que permitan fortalecer los nexos de confianza y el blindaje social, mitigando riesgos operacionales.

Respecto a la relación del proyecto con el Medio Ambiente, se deberán ejecutar los planes de mitigación y control ambiental diseñados en etapas anteriores, como así también, el seguimiento del cumplimiento de la legislación ambiental.


de Buses



7. CONCLUSIONES ***GENERALES***

- En la actualidad, dados los niveles de crecimiento de la demanda por servicios de transporte, y el gran esfuerzo que esto implica en cuanto a inversión en infraestructura urbana, la tendencia de las grandes ciudades del mundo (entre ellas las de Latinoamérica) es apostar por un transporte público seguro, sustentable, inclusivo y de bajo impacto en el entorno, que sea una alternativa efectiva al automóvil.

- Un adecuado estudio y ***Planificación*** de proyectos de transporte metroferroviario, debe basarse en un óptimo análisis de contexto urbano, territorial y social. Para ello, tiene que considerar las múltiples variables de entorno y su evolución, como el dimensionamiento de los proyectos para responder a adecuadas estimaciones de demanda, y el sustento de las propuestas y decisiones en apropiados análisis socioeconómicos, territoriales y de la red de transporte intermodal donde el proyecto se insertará.

- Claramente, esta etapa requiere un profundo análisis, y debe tomarse el suficiente tiempo para encontrar los distintos elementos que fortalecen la determinación, proceso en que- sin duda- debe sensibilizarse a los distintos stakeholders, de manera que se aborden aspectos de definición política, así como de relaciones comunitarias e impacto en el Medio Ambiente.

- Hechos los estudios necesarios que apuntan a la decisión macro de un proyecto, es vital hacer la definición del ***Modelo de Negocio*** con que se llevará a cabo. Los asuntos que se relacionan en esta fase están directamente asociados a la estructuración técnica, legal, institucional y de financiamiento. Aquí, se debe definir si se desarrolla desde la perspectiva de un proyecto 100% público, o a través de una Asociación Público - Privada (APP). La selección de alguno de los modelos en APP dependerá tanto de las características del proyecto, como del nivel de inversión requerido, del marco regulatorio y de la política fiscal de cada país.

- Formalmente, la etapa de ***Construcción*** se relaciona con la infraestructura de la zona urbana, sea ésta subterránea, a nivel o en viaducto elevado. Independiente del caso, se debe prever que habrá interferencias como: servicios públicos aledaños a la obra, infraestructura pública o privada existente o proyectada, distintos tipos de suelo o disponibilidad de adecuados espacios para la edificación. Aunque parezca obvio, estas variables condicionan los costos que cada solución implica, y por tanto, afectan la viabilidad de su materialización.

- Así, es clave poner énfasis en una adecuada administración del proyecto, con foco en costo, plazo y desempeño. La injerencia de variados procedimientos constructivos, cuya elección dependerá de las ingenierías del proyecto, tiene impacto en el financiamiento y cronograma final. Por tanto, es especialmente importante considerar el dimensionamiento de las obras, siendo un parámetro referencial clave el punto de equilibrio entre demanda y oferta de servicio de transporte. Sin embargo, se debe tener presente que ello condiciona el volumen de obras, como las estaciones, con el impacto de su ubicación, profundidad o altura, funcionalidad, conectividad y arquitectura.

- Finalmente, en la ***Operación***, el foco principal debe estar puesto en la calidad de servicio que se entrega al usuario. En ese contexto, una adecuada definición de la explotación del servicio de transporte debe cumplir con el objetivo de proveer estándares de calidad y las mejores prácticas de la industria, gracias a herramientas que permitan agregar valor mediante la mejora de la experiencia de viaje de pasajeros y pasajeras, y la optimización constante de la operación. Por tanto, se hace cada vez más necesaria la incorporación de tecnología con altos estándares de seguridad, y en correlato con las TIC del entorno y con las demandas de sustentabilidad de las comunidades, incorporando a la vez planes de ahorro energético y el uso de ERNC.

- Para todas las etapas del proyecto, las ***relaciones con la comunidad*** estarán orientadas a socializar el proyecto desde sus inicios para ganar legitimidad social en el entorno; escuchar, despejar dudas y mantener informados a los actores relevantes; evaluar la percepción de todos los sectores involucrados en el proyecto mientras se construye; y fortalecer los lazos ya formados durante la operación.

Sinópsis estratégica de proyectos ferroviarios de transporte masivo de pasajeros:

- Generación de sistemas de transporte seguros y sustentables
- Proyectos planificados en estricto apego a las demandas de servicios de transporte
- Proyectos sostenibles en el mediano y largo plazo
- Soluciones constructivas acordes y en sintonía con el entorno urbano
- Operación orientada a las necesidades de los usuarios y flexible ante los cambios en la demanda
- Constante relacionamiento con las comunidades involucradas en el proyecto, para alcanzar la legitimidad social adecuada y éste prospere sin problemas comunicacionales




7
6


Estación Retiro Línea Mitre
Salidas / Departures
Retiro
HORA ACTUAL 15:30
J.L. SUÁREZ
ANDÉN 5 | 15:35
TIGRE
ANDÉN 1 | 15:40
MITRE
ANDÉN 4 | 15:45
J.L. SUÁREZ
ANDÉN 6 | 15:50
TIGRE
ANDÉN 2 | 15:53
LA LÍNEA MITRE. DISCULPÁ LAS MOLESTIAS.
LÍNEA MITRE


SALIDA

8. GLOSARIO

BRT

Acrónimo: Bus de Transito Rápido (en inglés: *Bus Rapid Transit*). Es un sistema de transporte basado en buses, que debe contener como mínimo: carriles exclusivos (o carriles segregados del tráfico mixto) para autobuses; pago de la tarifa y validación del viaje fuera del autobús; puntos de parada fijos con plataformas; autobuses de gran capacidad (articulados y biarticulados). Sin embargo, existen sistemas que en sus inicios, cuando la demanda no es muy alta, utilizan autobuses sencillos (Erburu, 2013).

CAPEX

Acrónimo: Costo de Inversión en un proyecto (en inglés: Capital Expenditure) (Buján, Enciclopedia Financiera, 2012).

Contrato EPC

Tipo de contrato en que una empresa se encarga de la ejecución integral de los servicios de Ingeniería, Adquisiciones y Construcción de un proyecto por un precio establecido, según distintas modalidades (en inglés: Engineering, Procurement, Construction) (Salmona, 2008).

Contrato EPCM

Tipo de contrato en que una empresa se encarga de la ejecución integral de los servicios de Ingeniería, Adquisiciones, y Administración de la Construcción de un proyecto por un precio establecido, según distintas modalidades (en inglés: Engineering, Procurement, Construction, Management) (Salmona, 2008).

Contrato EPCMO

Tipo de contrato en que una empresa se encarga de la ejecución integral de los servicios de Ingeniería, Adquisiciones, Administración de la Construcción, y Operación de un proyecto por un precio establecido, según distintas modalidades (en inglés: Engineering, Procurement, Construction, Management, Operation) (Salmona, 2008).

DOT

Acrónimo: Desarrollo Orientado al Transporte. Esta tendencia se basa en el desarrollo urbano en áreas adyacentes a estaciones de transporte masivo, con el objetivo de fomentar un mayor uso del sistema de transporte público y a la vez potenciar la sostenibilidad financiera de dicho sistema, mediante la concentración de la demanda de usuarios del transporte público a partir de la redensificación urbana en zonas estratégicas. Los desarrollos DOT se diseñan según ocho principios ligados al urbanismo sostenible: Caminar, Pedalear, Conectar, Transportar, Mezclar, Densificar, Compactar y Cambiar (Cuello, Sastre, Álvarez, Romero, & Vaquero, 2016).

EIU

Acrónimo: Estudio de Impacto Urbano.

ERNC

Acrónimo: Energías Renovables No Convencionales.

Externalidades

Efectos indirectos que provocan las decisiones de consumo, producción e inversión que toman los individuos, los hogares y las empresas. Muchas veces no son cuantificables, y sólo pueden ser identificadas. Las hay positivas y negativas, y son una de las razones de por qué las autoridades intervienen en la economía (mercado) (Helbling, 2010).

GoA

Acrónimo: Grado de Automatización (en inglés: Grade of Automation). Existen cinco grados de automatización, que van desde el GoA0 al GoA4 (el máximo), definidos en función de cuánta participación humana y su complemento con los sistemas automáticos exista en un sistema metroferroviario (Ferropedia, 2016).

Gobernanza Modo de gestión de los asuntos públicos en todos sus niveles: nacional, local, internacional y regional. La gobernanza se considera «buena» y «democrática» en la medida en que las instituciones y procesos de cada país sean transparentes. La buena gobernanza promueve la equidad, la participación, el pluralismo, la transparencia, la responsabilidad y el estado de derecho, de modo que sea efectivo, eficiente y duradero. Llevando estos principios a la práctica, somos testigos de elecciones frecuentes, libres y limpias, parlamentos representativos que redactan leyes y proporcionan una visión de conjunto, y un sistema jurídico independiente para interpretar dichas leyes (ONU).

Hallazgo arqueológico Es el descubrimiento de restos arqueológicos (materiales, estructuras y restos medioambientales), provenientes de actividad humana histórica o prehistórica (presencia de artefactos, elementos estructurales, suelos de ocupación, etc.) (Renfrew & Bahn, 2008).

Impacto ambiental Cambios en las variables propias del medio ambiente físico, biológico, cultural y social que puede causar la concreción proyecto en un área determinada (Sánchez & Guiza, 1989).

Integración modal Participación e interacción de distintos medios de transporte para dar solución a la necesidad de desplazamiento de personas en mayores distancias (Olivares, 2006).

Intercambiadores Lugar de articulación entre distintos modos de transporte. Son pieza clave en la movilidad, en particular cuando se combinan viajes de larga distancia con los de acceso y dispersión. La buena conexión entre ambas partes de un viaje de larga distancia pueden hacer más o menos competitivas las alternativas de transporte público (Monzón de Cáceres, López, Wang, & Alonso, 2012). También se les conoce como “EIM” o “Estaciones InterModales” en algunos países.

Línea de base Consiste en la descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad, de forma previa a su ejecución (Servicio de Evaluación Ambiental de Chile).

Mapa de procesos Diagrama de valor que representa, a manera de inventario gráfico, los procesos de una organización en forma interrelacionada (Macías, 2007).

Metro Tren a tracción eléctrica que se desplaza por un circuito propio exclusivo en un contexto urbano (UITP, 2003) .

Metro ligero / Tren ligero Sistema de transporte público guiado permanentemente por lo menos por un carril, operado en el entorno urbano, suburbano y regional con vehículos automotores y operado con o sin segregación de la carretera y el tráfico peatonal. Esta amplia definición abarca todas las formas posibles dentro de la continuidad entre un tranvía clásico (no segregado) y un metro (completamente segregado) (UITP, 2009).

Modelo APP Modelo de Asociación Público Privada que vincula a ambos sectores bajo las formas de sociedad en el largo plazo. Según el “Libro Verde sobre PPP” de la Comisión Europea, publicado en 2004, establece cuatro características que debe cumplir todo proyecto tipo “APP”: A) La relación entre el sector público y el sector privado debe tener una larga duración. B) El sector privado debe participar de algún modo en la financiación. C) El sector privado

debe tener un papel fundamental en el mantenimiento y explotación de la infraestructura. D) La relación debe establecer una adecuada distribución de riesgos entre el sector público y el sector privado (Vassallo & Izquierdo, 2010).

OOCC *Acrónimo:* Obras Civiles.

OOCC y EM *Acrónimo:* Obras Civiles, Ingeniería y Mantenimiento (en inglés: Engineering and Maintenance).

OPEX *Acrónimo:* Costo Continuo para el funcionamiento de un producto, negocio o sistema (en inglés: Operating Expense). Su contraparte es el CAPEX (Buján, Enciclopedia Financieria, 2014).

Paleontología Ciencia que estudia e interpreta los fósiles para conocer el pasado de la vida sobre la Tierra (Servicio Geológico Mexicano).

POT *Acrónimo:* Plan de Ordenamiento Territorial.

SAE *Acrónimo:* Sistema de Apoyo a la Explotación.

SIG *Acrónimo:* Sistema de Información Geográfica. Consiste en la integración organizada de hardware, *software* y datos geográficos para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada (Sistemas de Información Geográfica).

Sistema Contact-Less Sistema de pago que permite realizar transacciones tan sólo acercando una tarjeta al terminal de punto de venta (ALAMYS, 2017).

Sistema de cobro BiBo Sistema que tecnológicamente detecta la ID del usuario y le cobra el trayecto en función del recorrido realizado (en inglés: Be-in Be-out) (ALAMYS, 2017).

Sistema integrado de recaudo Integración mediante un sistema único de recaudación en la red de transporte intermodal. Existencia de una tarifa común en los distintos medios de transporte y de un sistema de pago unificado, agilizando los tiempos de viaje y racionalizando los costos del servicio (ALAMYS, 2017).

Sostenibilidad Gestión de negocios que crea valor para los accionistas y sus partes interesadas, aprovechando las oportunidades de mercado, y encargándose de los impactos que sus decisiones empresariales causan en el medio ambiente y la sociedad (Cámara Chilena de la Construcción).

Stakeholders Todas aquellas personas u organizaciones afectadas por las actividades y las decisiones de una empresa (Freeman, 1984).

Subterráneos Revisar definición de “metro”.

Sustentabilidad Habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo, protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas (Calvente, 2007).

Tasa de motorización Sistema que mide la cantidad de vehículos motorizados por habitante en lugar y periodo dado (Gartner, 2011).

Tecnología Near Field Communication Tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance (unos 10 cm) y alta frecuencia (13,56 MHz) que permite el intercambio de datos entre dos dispositivos NFC próximo. En los casos de uso típicos uno de los dispositivos NFC que conforma la conexión, será el teléfono móvil. Los mayores fabricantes de éstos ya incorporan en su gama alta modelos con NFC. Las aplicaciones que surgen en este escenario son el pago con móvil el control de accesos, tickets NFC para conciertos y eventos, el transporte público, pósteres interactivos, etc. (TST Sistemas).

TIC *Acrónimo:* Tecnologías de Información y Comunicación.

Transporte Metroferroviario Para los efectos de este documento, se entenderá por este concepto a los siguientes sistemas: metro (o "subterráneo" en algunos países), metro ligero, tranvía y tren suburbano.

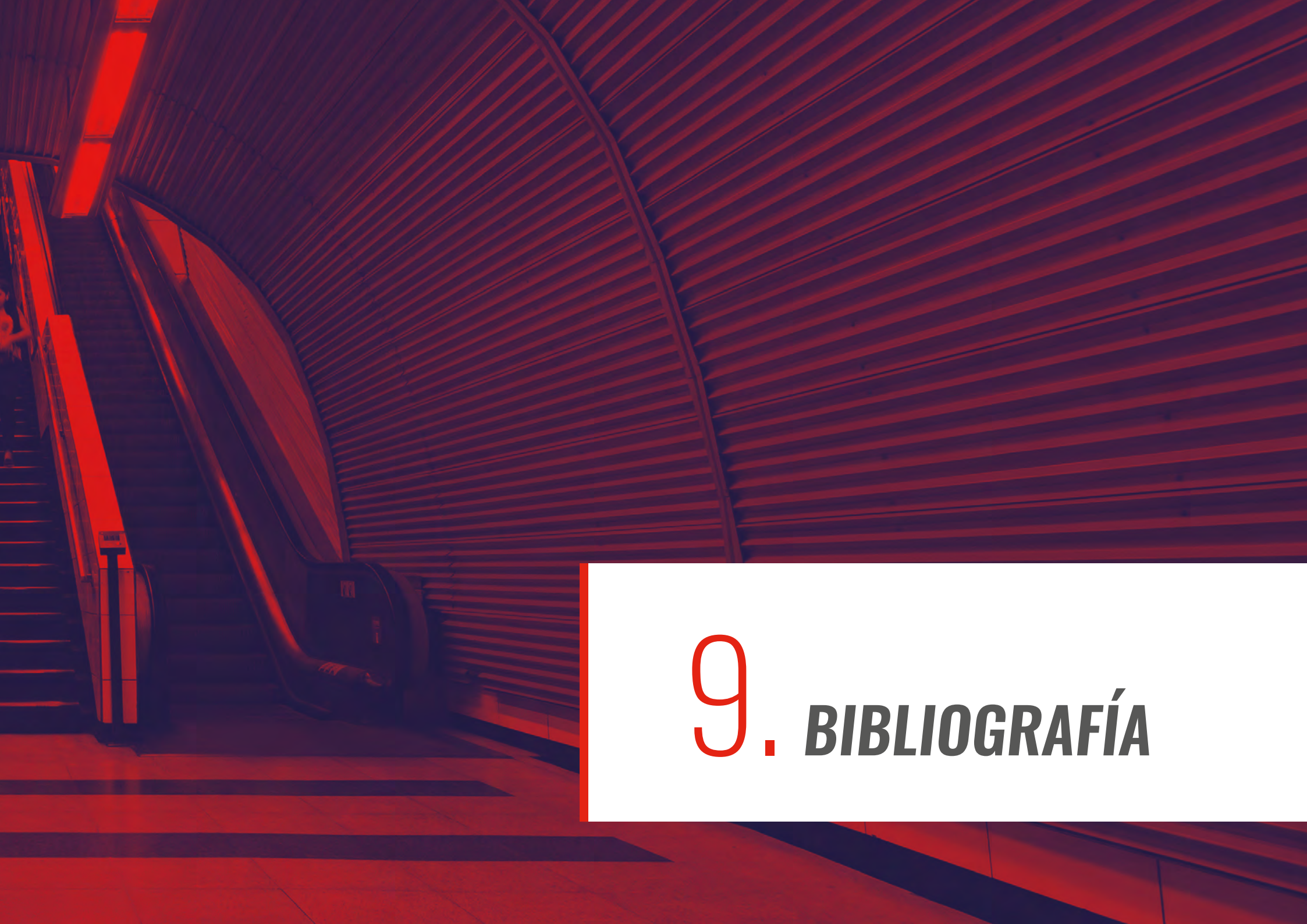
Transporte sobre rieles Ver definición de "Transporte Metroferroviario".

Trenes suburbanos Sistemas ferroviarios de transporte masivo que conectan entre sí una ciudad principal con sus alrededores, o con otros núcleos de población cercanos de primer nivel. Los servicios se caracterizan por realizar trayectos interurbanos de corta distancia, que exceden en longitud y duración los cubiertos por los sistemas de metro. Para la explotación, los operadores de los sistemas establecen una serie de líneas y paradas preestablecidas. También se conocen bajo el nombre más genérico de "ferrocarril suburbano". En España, se usa el término "tren de cercanías", mientras que en Argentina, corresponde al RER (Red de Expresos Regionales) (Ferropedia).

Viaducto Un viaducto es un elemento estructural longitudinal con una superficie plana y lisa que es utilizada como vía de recorrido por vehículos de transportes. Pueden ser pueden ser subterráneos o aéreos (Viaductos, 2014).

Tranvía Vehículo que circula sobre carriles de una vía férrea o sobre ruedas neumáticas en el interior de una ciudad o sus cercanías, y que se usa principalmente para transportar viajeros (Ferropedia).





9. BIBLIOGRAFÍA

AATE. (2016). Modelo de Negocio y Financiamiento de la Línea 2 del Metro de Lima. Quito, Ecuador.

ALAMYS. (2017). *ALAMYS.* Recuperado el 2 de Mayo de 2018, de https://www.alamys.org/wp-content/files_mf/1524059899FINALESP.pdf

ALAMYS. (2017). *Por qué el desarrollo de proyectos metroferroviarios es la mejor opción para el transporte sustentable de las grandes ciudades latinoamericanas.* Santiago, Chile: ALAMYS.

ALAMYS. (2018). *Por qué el desarrollo de proyectos metroferroviarios es la mejor opción para el transporte sustentable de las grandes ciudade latinoamericanas.* Santiago: ALAMYS.

Banco Mundial. (2017). *Las ciudades del futuro en América Latina: menos autos, menos jóvenes, pero más 'inteligentes'.* Obtenido de http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/10/05/ciudades-del-futuro-en-america-latina

Banco Mundial, G. (2018). *Banco Mundial.* Recuperado el 09 de Enero de 2018, de http://www.bancomundial.org/es/projects-operations/products-and-services#2

Banco Mundial, G. (2018). *CIADI.* Recuperado el 09 de Enero de 2018, de https://icsid.worldbank.org/sp/Pages/about/ICSID%20And%20The%20World%20Bank%20Group.aspx

Buján, A. (2012). *Enciclopedia Financiera.* Obtenido de https://www.enciclopediafinanciera.com/definicion-capex.html

Buján, A. (2014). *Enciclopedia Financieria.* Obtenido de https://www.enciclopediafinanciera.com/definicion-opex.html

Calvente, A. (2007). *Programa de difusión e investigación en Desarrollo Sustentable de la Universidad Abierta Interamericana.* Obtenido de http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/uais-sds-100-002%20-%20sustentabilidad.pdf

Cámara Chilena de la Construcción. (s.f.). Obtenido de http://www.cchc.cl/que-es-la-sostenibilidad

CELADE - División de población de la CEPAL. (2016). *Base de datos de Distribución Espacial de la Población y Urbanización en América Latina y el Caribe (DEPUALC).*

CEPAL . (2002). *Review N°76.* Santiago: CEPAL.

Cuello, M., Sastre, J., Álvarez, D., Romero, C., & Vaquero, N. (2016). *OSC Editorial UPV.* Obtenido de http://ocs.editorial.upv.es/index.php/CIT/CIT2016/paper/viewFile/3182/1623

Erburu, I. (2013). *Diseño de un sistema de autobús de alto nivel de servicio (BHLS) en la ciudad de Santander.* Santander: Universidad de Cantabria.

Ferropedia. (2016). *Ferropedia.* Obtenido de http://www.ferropedia.es/wiki/Sistemas_de_conducci%C3%B3n_autom%C3%A1tica

Ferropedia. (s.f.). *Ferropedia.* Obtenido de http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/Ferrocarril_suburbano

Freeman, E. (1984). *Strategic Management: a stakeholder approach.* Cambridge: Cambridge University Press.

Gartner, A. (Mayo de 2011). *Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial de la Universidad Tecnológica Nacional.* Obtenido de http://c3t.fra.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2012/05/Estudio-sobre-tasa-de-motorizacion.pdf

Helbling, T. (Diciembre de 2010). *Fondo Monetario Internacional.* Obtenido de https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2010/12/pdf/basics.pdf

IESE Cities in Motion Strategies. (2014). *IESE.* Obtenido de https://www.iese.edu/research/pdfs/ST-0333.pdf

International Transport Forum de OCDE. (2011). *ITF/OCDE.* Recuperado el 2018, de https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/11outlook.pdf

La Nación. (7 de Febrero de 2018). Línea 7 del Metro: abren licitación y dan a conocer los nombres de las estaciones. Santiago, Chile.

Macías, M. (2007). *Guía para la identificación y análisis de procesos. Cádiz: Universidad de Cádiz.*

Monzón de Cáceres, A., López, M., Wang, Y., & Alonso, A. (2012). *Archivo Digital Universidad Politécnica de Madrid.* Obtenido de http://oa.upm.es/19215/1/INVE_MEM_2012_116086.pdf

Olivares, C. (Marzo de 2006). *Bicivilízate*. Obtenido de http://www.bicivilizate.com/2006/03/10/integracion-modal-bicicleta-metro/

ONU. (s.f.). *Organización de Naciones Unidas.* Obtenido de http://www.un.org/es/globalissues/governance/

Renfrew, C., & Bahn, P. (2008). *Arqueología: Conceptos Clave.* Madrid: Akal.

Salmona, M. (Octubre de 2008). *Cruz y Dávila.* Obtenido de http://www.cruzydavila.cl/ina/archvs/con101.pdf

Sánchez , V., & Guiza, B. (1989). *Glosario de términos sobre Medio Ambiente.* (U. PNUD, Ed.) Santiago, Chile: Ed. UNESCO.

Servicio de Evaluación Ambiental de Chile. (s.f.). Obtenido de http://sea.gob.cl/evaluacion-ambiental/informacion-linea-base-eia

Servicio Geológico Mexicano. (s.f.). Obtenido de https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Fosiles/Paleontologia.html

Sistemas de Información Geográfica. (s.f.). Obtenido de https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/

Spanish Railway. (1 de Mayo de 2012). *Spanish Railway*. Recuperado el 2 de Mayo de 2018, de http://www.spanishrailway.com/2012/05/01/ferrocarril-de-sarria-a-barcelona-s-a-ferrocarriles-de-cataluna/

TST Sistemas. (s.f.). *NFC: Comunicación Contactless*. Obtenido de http://www.tst-sistemas.es/nfc/

UITP. (Noviembre de 2003). *UITP.* Obtenido de https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/04%20El%20metro%20una%20oportunidad%20para%20el%20desarrollo.pdf

UITP. (2009). *Metro, Light Rail and Tram Systems in Europe*. Obtenido de http://www.uitp.org/files/ERRAC_MetroLR&TramSystemsinEurope.pdf

Vassallo, J., & Izquierdo, R. (2010). *Infraestructura pública y participación privada: conceptos y experiencias en América y España.* Bogotá: Corporación Andina de Fomento. Obtenido de https://www.caf.com/media/3163/LibroinfraestructuraFINAL.pdf

Viaductos. (2014). *Viaductos*. Obtenido de https://viaductos.webnode.com.co/

World Society for Transport and Land Use. (2016). The gaps in satisfaction with transit services among BRT, metro and bus riders: evidence from Guangzhou. *The Journal of Transport and Land Use*, 97-109.





10. AGRADECIMIENTOS

Sin duda, el proceso de desarrollo de la "Guía para la Gestión de Proyectos Metroferrovarios" no habría sido posible sin el apoyo y compromiso de diversos socios y amigos de ALAMYS.

Este documento ha sido elaborado bajo el liderazgo de la Secretaría General de ALAMYS, y de más de 20 representantes de las entidades que a continuación se mencionan.

A todos y todas quienes participaron, agradecemos profundamente su disposición, aporte académico y experiencia, que permitieron la publicación de este trabajo.

Socios Principales y Socio Honorario de ALAMYS

1. *Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE).*
2. *Autoridad de Transporte Metropolitano de Barcelona (ATM).*
3. *Línea 1 del Metro de Lima.*
4. *Metro de Madrid.*
5. *Metro de Medellín.*
6. *Metro de Santiago.*
7. *Metro Quito.*
8. *Metro Río.*
9. *Subterráneos de Buenos Aires.*

Proveedores y Socios Adherentes de ALAMYS

1. *CITEF.*
2. *EGIS.*
3. *Giro.*
4. *INECO.*
5. *Ingerop.*
6. *Stadler.*
7. *Thales.*

Entidades multilaterales y amigas de ALAMYS

1. *Banco de Desarrollo de América Latina, CAF.*
2. *Banco Interamericano de Desarrollo, BID.*
3. *Banco Mundial.*
4. *Lima Cómo Vamos- Observatorio Ciudadano.*


AATE
Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao
ATM
Àrea de Barcelona
Autoritat del Transport Metropolità
línea 1
Metro de Lima
Metro
Metro de Madrid
METRO DE MEDELLÍN
CALIDAD DE VIDA
METRO DE SANTIAGO
metro
METRÔ RIO
Subte
Buenos Aires Ciudad
CITEF
egis
GIRO
ineco
INGÉROP
Inventons demain
STADLER
Clevere Lösungen auf der Schiene
THALES
CAF
BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA
BID
Mejorando vidas
BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF
LIMA CÓMO VAMOS
observatorio ciudadano