

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de construcciones*



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN TÚNEL DE CARRETERA EN
LIMONAR, MATANZAS**

Autor: Dayné Sarría Fusté

Tutor(es): Ing. Oscar Acuña González

Dr. C. Pedro José Miranda Ventura.

Matanzas, 2020

PENSAMIENTO

“Es justamente la posibilidad de realizar un sueño lo que hace que la vida sea interesante”

Paulo Coelho.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que **Dayné Sarría Fusté** soy la única autora de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

Dayné Sarría Fusté

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A mis padres y abuelos, por siempre tener confianza en mí y apoyarme a lo largo de toda mi formación.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, abuelos, hermanos, suegros y esposo, por estar siempre presentes en mis noches de desvelo.

A mis profesores, que de una forma u otra me enseñaron todos los valores y el significado de ser profesional.

A mis tutores, por alentarme en momentos cuando pensé que era mucho para mí, gracias por darme el empujón.

RESUMEN

En nuestro país no es frecuente el empleo de túneles de carretera como solución vial de ahí que la esencia de este trabajo sea profundizar en los principios generales que rigen el proceso de diseño de un túnel de carretera para contribuir al desarrollo vial de la provincia de Matanzas y así propiciar un acercamiento de la ingeniería civil cubana al diseño de este tipo de obra. En el presente trabajo se toman como referencia las normas de la Eurozona, pues sobre la base de estas es posible lograr las normas de diseño de túneles de carretera específicas para la República de Cuba. A partir de las Normas de diseño de túneles de carretera de la Eurozona y tomando los elementos compatibles con nuestras condiciones, se realizó el diseño de un túnel de carretera para la provincia de Matanzas localizado en el municipio Limonar con el objetivo de acortar distancia y así contribuir con el ahorro de combustible, agilizar el transporte terrestre disminuyendo los accidentes de tránsito, complementar su uso para la defensa civil en situaciones excepcionales o la guerra y sentar las bases para la elaboración de las Normas cubanas de diseño y como fuente de redacción de nuevas tesis de grado en los próximos cursos.

Palabras claves: diseño; iluminación; norma; túnel; ventilación.

ABSTRACT

In our country the use of road tunnels as a road solution is not frequent, hence the essence of this work is into delve into the general principles that govern the design process of a road tunnel to contribute to the road development of the province of Matanzas and thus promote an approach of Cuban Civil Engineering to the design of this type of work. In this work, the Eurozone standards are taken as a reference, since on the basis of these it is possible to achieve the specific road tunnel design standards for the Republic of Cuba. Based on the Eurozone road tunnel design standards and taking the elements compatible with our conditions, the design of a highway tunnel for the Matanzas province located in the Limonar municipality was carried out with the aim of shortening the distance and thus contributing to fuel savings, streamline land transportation by reducing traffic accidents, complement its use for civil defense in exceptional situations or war and lay the foundations for the Cuban Design Standards and as a source for writing new degree theses in the coming courses.

Keywords: design; illumination; norm; tunnel; ventilation.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
Introducción	1
Capítulo I Surgimiento y desarrollo de los túneles de carretera	7
1.1 Inicio de las construcciones subterráneas	7
1.2 Desarrollo de los túneles en Asia, Europa y América	8
1.2.1 Túneles de Asia	8
1.2.2 Túneles de Europa	9
1.2.3 Túneles en América	11
1.3 Túneles en Cuba	12
1.4 Túneles en Matanzas	14
1.5 Funciones y necesidades de los túneles	15
1.6 Requerimientos de diseño para los túneles de carretera de Cuba	16
1.7 Particularidades de las normas de diseño por zonas geográficas de mundo	16
1.8 Conclusiones preliminares del capítulo	17
Capítulo II Elementos de diseño de un túnel de carretera según Normas de la Eurozona	19
2.1 Requisitos y principios de diseño para túneles de carretera	19
2.2 Documentos normativos para el diseño de un túnel de carretera	23
2.2.1 Trazo en planta y perfil	24
2.2.2 Topografía	24
2.2.3 Delimitación del área de estudio	25
2.2.4 Levantamiento topográfico de detalle para diseño de portales y obras exteriores (cuartos o edificios de control)	25
2.2.5 Criterios generales para la definición de los portales	26
2.2.6 Perfil longitudinal	27
2.2.7 Perfil del terreno	27
2.3 Sección transversal	27
2.4 Gálibos Horizontal y Vertical	28
2.5 Criterios generales para la configuración geométrica de la sección	28
2.6 Evolución de la calzada en función del trazado y su influencia en la definición de la sección interior	29
2.7 Definición del ancho de calzada	29
2.8 Aceras (Banquetas)	30
2.9 Sección Geométrica de los Túneles para carreteras Tipo A2	30

2.9.1	Túneles de longitud menor a 500 m	30
2.9.2	Túneles de longitud mayor a 500 m	31
2.9.3	Zapatas del revestimiento y juntas de construcción	31
2.9.4	Faja separadora central	31
2.9.5	Bahías de emergencia	31
2.10	Criterios generales para la ubicación de las bahías de emergencia	32
2.11	Túneles de escape o emergencia	32
2.12	Galerías de conexión	33
2.13	Locales de aislamiento en situaciones de emergencia	33
2.14	Instalaciones tecnológicas y de seguridad en túneles	33
2.14.1	Área para instalaciones	34
2.14.2	Ventilación de explotación	34
2.14.3	Parámetros que afectan la concentración de humos	34
2.14.4	Sistemas de ventilación	35
2.14.5	Normas referente a los Sistemas de Ventilación para túneles de Carretera (Eurozona)	39
2.15	Normativas del Ministerio de Transportes, sobre túneles carreteros.	39
2.16	Control de tráfico, señalización y balizamiento	41
2.17	Sistema de seguridad de los túneles	42
2.18	Sistema de iluminación	43
2.19	Suministro y equipamiento eléctrico	44
2.20	Centros de Control, Sistema de Detención Automática de Incidentes y Sistemas de Comunicación	46
2.21	Conclusiones preliminares del capítulo	47
Capítulo III	Propuesta de solución de un túnel de carretera en Limonar, Matanzas	48
3.1	Necesidades de la construcción de un túnel de carretera en Limonar, Matanzas	49
3.2	Complejidad de la vialidad en el recorrido propuesto	50
3.3	Propuesta de diseño del túnel de carretera en Limonar, Matanzas	52
3.3.1	Diseño de portales	52
3.3.2	Gálibos horizontal y vertical	53
3.3.3	Aceras (Banquetas)	53
3.3.4	Secciones transversales principales	53
3.4	Instalaciones tecnológicas, de seguridad y señalizaciones en el Túnel de Zequeira	55
3.4.1	Ventilación de explotación y en emergencia	55

3.4.2	Sistema de iluminación durante la explotación y en emergencia	55
3.4.3	Estaciones de emergencia	56
3.4.4	Centro de control y sistema de monitoreo	56
3.4.5	Suministro y equipamiento eléctrico	56
3.4.6	Salida de emergencia. Refugio	57
3.4.7	Incendio. Detección y extinción	57
3.4.8	Control de tráfico y circulación	57
3.4.9	Sistema de comunicaciones	58
3.4.10	Equipamiento hidráulico	58
3.4.11	Señalización y balizamiento	58
3.5	Ventajas y desventajas de la propuesta respecto al empleo de una carretera	59
3.5.1	Ventajas	59
3.5.2	Desventajas	60
3.6	Valoración económica	61
3.7	Conclusiones preliminares del capítulo	61
	Conclusiones	62
	Recomendaciones	63
	Bibliografía	64

INTRODUCCIÓN

La construcción de un túnel es una de las empresas más complejas en el ámbito de la ingeniería civil, aun así, el túnel es y ha sido una herramienta para salvar la barrera que presenta la topografía y permitir establecer nuevas vías comerciales para viajeros, acortar distancias y reducir peligros a la vez que presenta gran interés para el Dispositivo Defensivo Territorial.

Los túneles de carretera en el mundo son una de las alternativas de construcción que ha tenido más impulso en los últimos años en varios países con miras al desarrollo comercial y económico. Se diseñan para favorecer el paso continuo y seguro de vehículos motorizados a través de obstáculos topográficos que impone la naturaleza al trazado del camino, siendo los más comunes, las montañas; lo anterior implica que en la mayoría de los casos, atraviesan macizos rocosos.

Este auge en la construcción de túneles ha motivado grandes avances tecnológicos, tanto en la maquinaria de construcción propiamente dicha, como en los materiales empleados para el sostenimiento de los túneles. A pesar de estos adelantos tecnológicos, nuestro país adolece de una red vial con presencia de túneles de carretera, motivado fundamentalmente por la inexistencia en el territorio nacional de normas de diseño específico de este tipo de obra para la vida civil.

En nuestra opinión, **EL TÚNEL** es la obra civil que mejor preserva el valor del paisaje, debido a la reducción considerable de los volúmenes de movimiento de tierra, evita la contaminación del manto freático, limita el ruido producido en su interior y reduce los terrenos a expropiar. En definitiva es la obra de menor impacto ambiental.

Por estas razones resulta evidente que los conceptos de COMUNICACIÓN y MEDIO AMBIENTE, hacen del túnel un elemento imprescindible en la actualidad.

La tesis que se presenta, “Propuesta de diseño de un túnel de carretera en Limonar, Matanzas”, está dirigida a profundizar en los principios generales que rigen el proceso de diseño de este tipo de obras destinadas al transporte terrestre. Se trata de una temática de

actualidad y vigencia para el desarrollo vial de la provincia de Matanzas. Su selección, en consulta con profesores de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y especialistas de la Empresa de Proyectos e Investigaciones de las FAR (EMPI FAR), la cual fue motivada esencialmente por la necesidad de propiciar un acercamiento de la ingeniería civil cubana al diseño de este tipo de obras que retome la línea de desarrollo alcanzada por la capital de la República en la década del 50 del siglo XX.

Como consecuencia de esta realidad se nos presenta la siguiente **Situación Problemática:**

Contradicción existente entre la necesidad de disponer de túneles de carretera en Cuba y no contar con normas de diseño específicas de este tipo de obra para la vida civil.

De esta manera nos planteamos el siguiente **Problema Científico:**

¿Cómo lograr el diseño de un túnel de carretera para contribuir al desarrollo vial de la provincia de Matanzas?

Objetivo de la investigación:

Perfeccionar la red vial de las carreteras de la Provincia de Matanzas con el empleo de túneles.

Campo de acción:

Diseñar túneles de carretera en Limonar, Matanzas.

Objetivo general:

Proponer los elementos básicos que den lugar al establecimiento de las normas de diseño de túneles de carretera para las condiciones de nuestro país.

Objetivos específicos:

1. Establecer los elementos de diseño para el trazado en planta de un túnel de carretera.
2. Establecer las secciones transversales más adecuadas para el diseño.

3. Precisar los sistemas de ventilación e iluminación más adecuados durante la explotación y en caso de emergencia.
4. Establecer los elementos de los sistemas de explotación y seguridad a emplear en la propuesta de diseño de un túnel de carretera.
5. Proponer el diseño de un túnel de carretera en Limonar, Matanzas.

Resultados esperados:

Al concluir este trabajo de diploma se contará con una herramienta viable para proponer el diseño de un túnel de carretera en Limonar, provincia de Matanzas, sentando las bases para la elaboración de las **Normas Cubanas de Diseño** y como fuente de redacción de nuevas tesis de grado en los próximos cursos.

El **valor económico** se refleja en el acortamiento de distancias y pendientes, además de la disminución de los costos de mantenimiento respecto a las carreteras necesarias, contribuyendo al ahorro de combustible y a la preservación de la calidad técnica del vehículo.

El trabajo encierra **valor social** debido a que representa una posibilidad de agilizar el transporte terrestre disminuyendo los accidentes de tránsito.

El **valor científico técnico** del trabajo se manifiesta en el aporte de los criterios de diseño para un túnel vial de carretera no existente en la actualidad.

El **valor militar y de defensa civil**, complementa las obras militares necesarias para la protección de la población, los recursos materiales y técnicos en situaciones excepcionales o la guerra.

Tareas de Investigación:

1. Consultar la bibliografía existente sobre el surgimiento y desarrollo de los túneles en las diferentes regiones del planeta.
2. Evaluar las normas de diseño de túneles de carretera establecidas en las diferentes regiones del planeta.

3. Seleccionar de entre todas las normas existentes la que mejor se adapta a las necesidades de transportación por carretera para las condiciones de Cuba en correspondencia con los criterios de diseño empleados.
4. Determinar los criterios de diseño del trazado en planta, secciones transversales y los sistemas de ventilación, iluminación, explotación y seguridad a incluir en el diseño de un túnel de carretera según la norma seleccionada.

Métodos de investigación a utilizar:

Métodos teóricos:

Inducción- deducción donde se promueve la necesidad de incorporar los túneles al trazado vial de carretera.

Análisis – síntesis, al realizarse un análisis minucioso de la bibliografía y la síntesis de datos de interés.

Histórico-lógico donde se reseñó la evolución de los túneles a lo largo de la historia.

Métodos empíricos:

Entrevistas, en las empresas y entidades vinculadas al tema que se aborda para la obtención de información.

Observación, para identificar la zona de interés donde ubicar el diseño del túnel de carretera.

Análisis porcentual, para identificar en la circulación vial el porcentaje de vehículos por día.

Estructuración de la tesis:

La tesis está estructurada de la siguiente manera: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En la **introducción** se caracteriza la situación Problémica y se formaliza el protocolo de investigación a desarrollar.

Capítulo I. Surgimiento y desarrollo de túneles de carretera. En este capítulo se describe el proceso de búsqueda bibliográfica sobre el surgimiento y desarrollo de los túneles de carretera desde sus inicios hasta nuestros días. Se inicia por las primeras acciones del hombre en su intento de modificar la naturaleza hasta concluir con un acercamiento a las novedosas obras que se construyen hoy en día, en las cuales se recoge lo mejor del conocimiento humano sobre esta materia. Abarca las diferentes regiones del planeta prestando especial atención a los ubicados en la **Eurozona** por cuanto se considera que cumplen los requisitos de seguridad y diseño más actuales y posibles a ejecutar en Cuba en correspondencia con los criterios de diseño empleados.

Capítulo II. Elementos de diseño de un túnel de carretera según normas de la Eurozona. En este capítulo se describen los principales elementos recogidos en las normas de la Eurozona que por su alcance y detallada descripción han alcanzado una amplia aplicación durante el proceso de diseño de túneles de carretera en las diferentes regiones del planeta.

Abarca todas las ramas del conocimiento aplicables a este tipo de obras transitando por topografía, geología, distribución espacial, diseño estructural, definición de los portales, definición de los gálibos, secciones transversales, sistema vial, ventilación, control de tráfico, señalización y balizamiento, Sistema Contra Incendio (**SCI**), equipamiento hidráulico, iluminación, suministro eléctrico, equipamiento eléctrico, Circuito Cerrado de Televisión (**CCTV**), Detección Automática de Incidentes (**DAI**), sistema de comunicaciones, gestión centralizada (Sala técnica y de control) y estaciones remotas las cuales se adaptan de forma parcial o total a las condiciones de diseño de Cuba.

Capítulo III. Propuesta de un túnel de carretera en Limonar, provincia de Matanzas. En este capítulo, considerando las Normas de diseño de túneles de carretera de la Eurozona descritas y analizadas en el capítulo anterior, se propone el diseño de un túnel de carretera en Limonar, provincia de Matanzas que serviría para conectar la Autopista Nacional con la Carretera Central y ésta a la Vía Blanca con un trazado desarrollado a través del Valle de Guamacaro, Cantel, Guácimas (desde hace muchos años construido en etapa de terraplén), Autopista Cárdenas-Varadero, permitiendo el desvío de toda la transportación de petróleo desde los pozos de Varadero hacia La Habana, evitando el intenso tráfico de la Vía Blanca, sus fuertes pendientes, el paso de puentes (entre ellos el Bacunayagua) que no todos están en buen estado debido al deterioro de los años, evitando además el trasiego de esta transportación altamente peligrosa y de gran tara, incorporando además la transportación de la totalidad de mercancías que en esta dirección arriban al polo turístico, así como los turistas que arriben o salgan desde el Aeropuerto Internacional de Rancho Boyeros en La Habana que tengan a Varadero como alojamiento de tránsito o permanente, evitando el tránsito por la Ciudad, contribuyendo además al mejoramiento de su red vial y como una aproximación a los elementos regulatorios que lleven a la elaboración de las Normas de diseño de túneles de carretera, específicas para nuestro país.

CAPÍTULO 1. SURGIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS TÚNELES DE CARRETERA.

En este capítulo se describe el proceso de búsqueda bibliográfica sobre el surgimiento y desarrollo de los túneles de carretera desde sus inicios hasta nuestros días.

¿Qué es un túnel? Como definición más general podemos decir que es una obra en forma de ducto, que se emplea para diferentes usos. (ver Anexo 1)

Estas obras, se inician por las primeras acciones del hombre en su intento de modificar la naturaleza hasta concluir con un acercamiento a las novedosas obras que se construyen hoy en día, en las cuales se recoge lo mejor del conocimiento humano sobre esta materia. Abarca las diferentes regiones del planeta prestando especial atención a las ubicadas en la Eurozona por cuanto se consideran las normativas que brindan soluciones más seguras y modernas, posibilitándonos la sección transversal típica que mejor se adapta a las necesidades de transportación por carretera para las condiciones de Cuba en correspondencia con los criterios de diseño empleados.

1.1. Inicio de las construcciones subterráneas.

La naturaleza fue quien realizó las primeras construcciones subterráneas, construyendo cuevas y cursos de agua subterráneos, decisivos para el desarrollo de la vida y el equilibrio de los ecosistemas. El hombre utilizó el túnel mucho después como solución para salvar obstáculos o por motivos prácticos, defensivos y por supuesto religiosos.

Los primeros túneles (Figura 1.1) se remontan a principios de los descubrimientos metalúrgicos, al final de la Edad de Piedra, destinados a la explotación de los minerales como el sílex o pedernal, material indispensable con el que se fabricaban una multitud de armas y herramientas; cuando se agotaba en la superficie se seguía la veta por medio de pozos y galerías. (ver Anexo 2)

Este proceso debió iniciarse hace unos 15 000 años. Estos túneles se abrían con la técnica del fuego que consistía en provocar un incendio en el frente de ataque para luego sofocarlo súbitamente con agua fría: el cambio de temperatura daba lugar al resquebrajamiento de la roca.

Los romanos dominaron el arte de los túneles, sobre todo los de carácter hidráulico, como lo demuestran las redes de acueductos que llevaban agua a las grandes ciudades, muchos de cuyos tramos eran en túnel.

Los instrumentos usados para los trabajos topográficos eran las miras en cruz, el nivel de agua y la plomada. También, siguiendo la costumbre de los etruscos, se desarrolló en el imperio romano la construcción de cloacas, que resolvían el desagüe de casas y calles.

Podemos decir que el primer túnel hidráulico moderno, fue la Mina de Daroca (Figura 1.2) que construyó Bedel (Ingeniero y arquitecto francés) entre los años 1555 y 1560 bajo el cerro de San Jorge y que conducía las aguas, a veces torrenciales, evitando los destrozos e inundaciones causadas a la ciudad antes de existir la mina. (ver Anexos 3, 4 y 5)



Figura 1.1 Primeros Túneles



Figura 1.2 Mina de Daroca

1.2. Desarrollo de los Túneles en Asia, Europa y América.

1.2.1 Túneles de Asia.

El desarrollo de los túneles en Asia, posee como común denominador la necesidad para la comunicación terrestre dentro de una región conformada sobre extensas y empinadas

cadena montañosas, dentro de las cuales están las mayores alturas de la orografía planetaria y climas diversos que van desde los desiertos hasta las zonas heladas.

Túneles característicos de esta región del planeta se consideran los siguientes:

- a) El túnel **Hsuehshan** o túnel de la "Montaña Nevada" es uno de los túneles más grandes del mundo ubicado en Taiwán, localizado en la autopista Taipei - Yilan (Autopista Nacional No. 5 de Taiwán). Está conformado por un túnel piloto y dos túneles principales para cada uno de los sentidos del tráfico. La longitud total es de 12 942 kilómetros reduciendo el tiempo de viaje de dos horas a solo media hora. (ver Anexo 6)
- b) Túnel **EURASIA** (2017) con 14 600 m de longitud, también en la República Popular China el cual se valora como el túnel más moderno y seguro del mundo en la actualidad.

1.2.2. Túneles de Europa.

El desarrollo de los túneles de carreteras en el mundo, lo situamos a partir de la aparición del automóvil, tornándose en Europa una necesidad para la comunicación terrestre dentro de un continente conformado sobre extensas cadenas montañosas y países separados por el océano. (ver Anexo 7)

El ingeniero británico Marc Isambard Brunel fue el encargado de realizar el primer túnel subacuático de nuestra era. El mismo fue ejecutado bajo el río Támesis con una longitud de 459 m, demorándose 16 años su construcción (1825-1841).

El primero de los grandes túneles en los Alpes fue el de **Monte Cenis** (Figura 1.3), también llamado de Frejus, que enlaza Francia con Turín, en Italia. Tiene una longitud de 12,2 km, su construcción empezó en 1857 y fue inaugurado en 1871 (14 años más tarde).



Figura 1.3 Túnel de Monte Cenis

El siguiente en construirse fue el de **St. Gotthard**, (Figura 1.4), entre 1872 y 1882. Enlaza Suiza con Italia, desde Zurich hasta Milán. Su longitud, de 14,4 km, superó la de Frejus; pero las condiciones de trabajo y la mala ventilación produjeron muchas muertes (alrededor de 200).



Figura 1.4 Túnel de St. Gotthard

El túnel de **Mont Blanc** (Figura 1.5), es un túnel en los Alpes, que une por carretera a Francia con Italia, bajo el Mont Blanc. Comenzado en 1957 y terminado en 1965, el túnel de posee 11,6 km de largo y 8,6 m de ancho discurre bajo la montaña entre estas dos ciudades. Es una de las principales rutas de transporte transalpinas, particularmente para Italia, que confía en ella para transportar hasta un tercio de sus mercancías hacia el norte de Europa.



Figura 1.5 Túnel de Mont Blanc

De los túneles existentes en Europa, se considera el más importante, el túnel del **Canal de la Mancha** denominado también **EUROTÚNEL**. Es un doble túnel de 50,4 km de longitud, 37 de los cuales discurren bajo el mar; una tercera galería paralela a las anteriores y conectada a ellas con otras transversales asegura la ventilación, el mantenimiento y la seguridad. En 1991 se produce el emboquillamiento de los túneles, y la apertura es en 1993. (ver Anexo 8)

1.2.3. Túneles de América.

Como el más antiguo, podemos señalar el túnel bajo el río **Hudson** en los EE.UU de Norteamérica, el cual se excavó casi completamente en limo, iniciándose en 1879 y se cerrándose en 1882 por falta de fondos. Las obras se reanudaron en 1889 utilizando el aire comprimido aplicado a un escudo (estructura rígida que protegía del colapso de la bóveda, de los hastiales y del propio frente de la excavación) y después de un período de inactividad por falta de fondos se concluyó en 1905. (ver Anexo 9)

Bajo ese propio río, e inaugurado en 2003, se encuentra el túnel **HOLLAND**, uno de los más modernos de EE.UU de Norteamérica En el resto del continente americano, se desarrollan varios cientos de kilómetros. de túneles, ubicados bajo la Sierra Madre (en Centro América) y los Andes (al sur de Colombia) o la Cordillera de la Costa más al sur del continente.

Entre estos túneles ejecutados podemos citar:

- a) Túnel de **ANGOSTURA** (Chile) con 349.0 m, construido en 1948
- b) Túnel de **CHACABUCO** (Chile) con 2.045 m de longitud construido en 1972
- c) Túnel **CRISTO REDENTOR** construido en 1980, (une a Chile con Argentina), con una extensión de 3.080 m. (con 1.564 m. en el lado chileno) (ver Anexo 10)
- d) Túnel internacional de **AGUAS NEGRAS**, construido en 2010 (une a Chile con Argentina) con una extensión de 13 900.0 m de longitud bajo los Andes (ver Anexo 11)

1.3. Túneles en Cuba.

El desarrollo en Cuba de la construcción de túneles no es nada nuevo ni olvidado, lo cual se manifiesta en la ejecución de diferentes obras de este tipo con diferentes designaciones y usos. De la primera que se tiene información fue precisamente en la provincia de Matanzas (1915) con una longitud de 90.0 m, concebida para el cruce de una zona de pequeñas elevaciones al noreste de la provincia (Municipio Martí) de un ferrocarril cañero. (Obra construida y proyectada por ingenieros cubanos).

En la década del 50 del Siglo XX se retomó este tipo de obra para dar soluciones diversas a las comunicaciones terrestres superando obstáculos acuáticos hacia el Este y el Oeste de la Capital de la República (el Canal de entrada de la bahía y el río Almendares), con obras que ostentan longitudes entre los 210.0 y 2.527 m y como conductora de agua en la descarga de la Hidroeléctrica del Hanabanilla en las actuales provincias de Villa Clara (Manicaragua) y Cienfuegos (Cumanayagua) con una longitud de 7.500 m. (obras construidas y proyectadas por ingenieros cubanos).

En los primeros años de la Revolución y como consecuencia de la defensa de la misma, se ha desarrollado de forma intensa la construcción de diversas tipologías y designaciones de túneles (llamados militares) que abarca hasta nuestros días. Paralelo a esto y como parte del desarrollo de la infraestructura del país se ha desarrollado en la Capital de la República la construcción de la línea No. 1 del Metro de La Habana actualmente en ejecución y en la zona Norte de las provincias de Guantánamo y Holguín se construye desde hace más de 30 años un gigantesco sistema de trasvase de agua desde el río Toa

hasta el sur de la ciudad de Holguín para garantizar el desarrollo agrícola de toda esa inmensa región, afectada por el clima de sequía permanente dado por sus condiciones naturales de índole atmosférica y climática, obra en la cual se han construido y construyen un centenar de kilómetros. de estas obras para conducir las aguas hasta presas y ciudades. (Obras también, construidas y proyectadas por ingenieros cubanos) (ver Anexo 12)

De esta forma, el desarrollo del transporte, las comunicaciones y la actividad económica en general de la ciudad de La Habana en la década de los años 50 del Siglo XX, se reflejaba en diversas ramas de la economía nacional y durante años las comunicaciones del núcleo urbano de la ciudad con el Este de la misma, se realizaban bordeando la Bahía de La Habana y hacia el Oeste cruzando el Río Almendares por los puentes existentes.

En esta década, se construyeron en la ciudad de La Habana, utilizando la más moderna tecnología constructiva en aquel entonces, un grupo de tres túneles, los cuales fueron dando solución a la conexión de la gran ciudad con la zona del Este y del Oeste, siendo diseñados y construidos los mismos por ingenieros cubanos liderados por el Ing. José Méndez. Así tenemos por orden cronológico estas obras: (ver Anexos 13 y 14)

- a) El **Túnel de la Calle Línea** o del río Almendares con entrada por la Calle Línea en el Vedado y salida por la Ave. 31 en Marianao (1951-1953) con 210.0 m de longitud.
- b) El **Túnel de la Bahía** ^[1], con entrada por la Avenida del Puerto y salida por la Doble Vía Monumental con 2.527 m de longitud (1955-1958) (Según proyecto, la zona central del túnel está constituida por cinco secciones o cajones de hormigón prefabricado, cuatro de los cuales tienen una longitud de 107.50 metros y un cajón central de 90 metros. El trazado de este túnel corre debajo del fondo de la Bahía de La Habana, entre 12 y 14 metros).

[1] Juan de las Cuevas Toraya, 2008, Las siete maravillas de la Ingeniería Civil Cubana, 2011, Editorial Científico-Técnica, 2011, 978-959-05-0615-4

- c) El **Túnel de Calzada** (también llamado de Malecón y 5ta Ave.) (ubicado junto al torreón de La Chorrera, el cual sustituyó al puente Pote) (1958-1960) con entrada por la Calzada de Malecón y la Calle Calzada y salida por 5ta Ave. de Miramar) con 220.0 m de longitud.

1.4. Túneles en Matanzas.

La historia de los túneles en el territorio de la provincia de Matanzas, exceptuando los construidos en interés de la defensa, se remonta al año 1915, con la construcción del túnel ferroviario en el Municipio de Martí para el trasiego de caña de azúcar hasta el Central Guipúzcoa, nombrado más tarde “Esteban Hernández” (Actualmente Granja Agroindustrial “Esteban Hernández”). (Figura 1.6). El túnel tiene cinco metros de ancho por cinco metros de alto y unos 90 m de longitud, lo cual evidencia que a este tipo de obra no se le ha dedicado un amplio empleo en el territorio matancero, lo cual es característico en el resto de las provincias del país con la excepción de las provincias ya señaladas anteriormente.



Figura 1.6 Túnel ferroviario Central Guipúzcoa.

En correspondencia con lo anteriormente expuesto asumimos que el tema que se propone en la presente tesis pudiera ser de gran interés para la ingeniería civil cubana y de forma particular para el desarrollo vial de la provincia de Matanzas.

1.5. Funciones y necesidades de los túneles.

Las funciones de los túneles son varias: se construyen túneles para transporte, almacenamiento, instalaciones diversas, por necesidades científicas y la protección de personas y técnica de diversos tipos y designaciones. (ver Anexo 15)

a) Transporte.

Se podría decir que es la función más antigua. La construcción de túneles para salvar obstáculos naturales se practica desde la antigüedad.

Se podría decir que es la función más antigua. La construcción de túneles para salvar obstáculos naturales se practica desde la antigüedad; podríamos resumir diciendo que en un principio fue el transporte de agua lo que necesitó de la solución de un túnel, debido a los requerimientos de pendiente mínima o nula; más adelante el desarrollo del ferrocarril, y posteriormente el desarrollo de los vehículos motorizados, hicieron necesaria la construcción de túneles por razones parecidas a las anteriores (evitar fuertes pendientes y superar obstáculos diversos), además para acortar distancias y ganar seguridad. Entre los túneles para el transporte de personas y mercancías podemos encontrar los ferroviarios, los vehiculares y los mixtos.

b) Almacenamiento.

El difícil almacenamiento de determinadas sustancias y materiales en grandes volúmenes, se soluciona en ocasiones con túneles, que garantizan las necesarias condiciones de seguridad en unos casos, y evitan en otros el fuerte impacto ambiental que ocasionarían unos grandes depósitos en la superficie. Entre ellos podemos encontrar los destinados para el almacenamiento de combustibles y lubricantes, de armamentos, de alimentos, agua, y medicamentos.

c) Instalaciones diversas.

Aquí se incluyen las grandes instalaciones subterráneas que se construyen por distintos motivos, destacándose en estas obras Suecia, para la cual dedica el 30 % del PIB y Corea

del Norte. Entre estos podemos encontrar destinados a instalaciones deportivas, hospitalarias, parqueos y fábricas.

d) Necesidades científicas.

En la actualidad los países más desarrollados, se construyen túneles para investigaciones científicas de difícil realización en la superficie, destacándose Rusia, EE.UU de Norteamérica y República Popular China, empleando estas obras para la ubicación de grandes instalaciones destinadas a aceleradores de partículas subatómicas y radio telescopios.

e) Protección de personas.

También se construyen túneles cuya función es la protección de las personas, tanto militares como civiles; en los últimos tiempos se han construido para la defensa frente ataques nucleares. En este tipo de túneles el mayor reto es la resistencia de la estructura a los efectos locales y generales que generan la Onda Expansiva de las explosiones termonucleares y sus altas temperaturas, así como la preservación de la vida durante un largo período de tiempo durante huracanes, intensas lluvias y acciones enemigas.

1.6. Requerimientos de diseño para los túneles de carretera de Cuba.

En el desarrollo los estudios realizados en la presente investigación, agrupamos los elementos componentes de un túnel que nos interesan con mayor importancia, entre los que están: **Sección transversal, Elementos Auxiliares y Sección Longitudinal** y lo comparamos con las de las diferentes zonas geográficas del planeta que se desarrollan estas obras. (ver Anexo 16)

1.7 Particularidades de las normas de diseño por zonas geográficas del mundo.

Para investigar sobre este aspecto, estudiamos las Normas de Diseño que se emplean actualmente en el mundo en sus diferentes zonas geográficas y dentro de ellas, en aquellos países o grupos de ellos, que están más avanzados y actualizados en esta materia. (ver Anexo 17)

1.8. Conclusiones preliminares del capítulo.

A partir de la búsqueda bibliográfica referida al surgimiento y desarrollo de los túneles de carretera y del análisis comparativo desarrollado se ha puesto de manifiesto que independientemente de que en todas las áreas geográficas del planeta existen obras de esta categoría, es en la **Eurozona** donde mayor desarrollo se ha alcanzado. La anterior afirmación se sustenta no solo en la envergadura, majestuosidad y elevado rigor técnico de su ejecución sino además en la existencia de normas de diseño para cada una de las ramas del saber relacionadas con este tipo de actividad humana.

Teniendo en cuenta lo anterior, proponemos asumir las Normas de Diseño de la **Eurozona** como elementos normativos del diseño de túneles de carretera en Cuba por ser las más abarcadoras en cuanto a alcance y especificaciones de diseño, al mismo tiempo que resultan las que mejor se adaptan a nuestras condiciones de sección transversal típica vinculada a las necesidades de transportación por carretera y a las posibilidades económicas de Cuba. (ver Anexo 18), dándole de esta forma cumplimiento al Objetivo Específico No. 1 de la investigación.

De esta manera, centramos las particularidades de diseño en los aspectos siguientes: (ver Anexos 19, 20, 21 y 22)

- a) Sección transversal. (Túnel Principal, Túnel Auxiliar para emergencias, Calzada sobre ménsula y Cubierta plana sobre ménsula),
- b) Elementos auxiliares de la Sección Transversal. (Salida de emergencia del Túnel Principal, Tercer carril con apartadero (bahía), Sistema de Alta Ininterrupción SAI),
- c) Desarrollo longitudinal de la Sección del túnel principal. (Tramos rectos, curvas horizontales, curvas verticales, pendientes máximas Normativa PIART/ 2010, apartaderos (bahías), cavernas con paisajismo artificial, aceras peatonales y rango de cota para la proyección),

d) Desarrollo longitudinal de la Sección del túnel auxiliar. (Tramos rectos, curvas horizontales y verticales y aceras siguiendo los principios de la galería principal, además sección transversal para maniobras de carros de bomberos y vehículos de evacuación, soporte para conductos y redes así como el rango de cota de proyecto).

CAPÍTULO II. ELEMENTOS DE DISEÑO DE UN TÚNEL DE CARRETERA SEGÚN NORMAS DE LA EUROZONA.

En el Capítulo anterior, arribamos en sus conclusiones preliminares a la propuesta de emplear las Normas de Diseño de Túneles de Carreteras que asume la Eurozona, las cuales están avaladas por un minucioso estudio casuístico de la totalidad de los túneles de carreteras existentes en la Unión, ejecutado entre los años 2000-2004 por una Comisión del Parlamento Europeo, motivado por una serie de catastróficos accidentes ocurridos entre 1999-2002 donde fallecieron 62 personas, siendo el más letal el desarrollado por la colisión de un camión cisterna de combustible con un auto de renta en uno de los túneles que corren bajo el Monte Blanco (Túnel Mont Blanc) en los Alpes que une a Francia con Italia y en el cual perecieron un total de 39 personas(1999), ese mismo año en el Túnel de **Trevens**, Austria, también bajo los Alpes, ocurrió otro accidente donde perecieron 12 personas y por último en el túnel de **St. Gotthard**, que enlaza Suiza con Italia, desde Zúrich hasta Milán, otro accidente que provocó 11 personas fallecidas (2002) todas por asfixia fundamentalmente a consecuencia del humo de los incendios y la imposibilidad de llegar los socorristas al área del siniestro o de escapar a zonas protegidas contra estos efectos.

2.1. Requisitos y principios de diseño para túneles de carretera.

Como consecuencia de este trabajo investigativo en el año 2004, 15 túneles europeos quedaron cerrados hasta que fueran remodelados y una veintena con limitaciones de movimientos para lograr remodelaciones importantes creándose una estrategia de diseño de túneles de carreteras que impone sus Requisitos de Diseño para ser avalados en su apertura por la citada Comisión parlamentaria, y en la que participan todos los países de la Eurozona con sus centros de investigación y Gobiernos, los cuales con fuerza de Ley o similar, establecen las Normas de Diseño para cada especialidad, definiendo las normativas de Control de Calidad para dar apertura o cerrar un túnel (ver Anexo 23)

En resumen, podemos agrupar los Requisitos para el diseño de la siguiente forma:

1. Requisitos mínimos específicos impuestos por la normativa. Componentes obligatorios. Con la evaluación de tres Requisitos: Sistema de explotación, Intensidad del tráfico y Longitud del túnel, se definen sus Componentes obligatorios. (ver Anexo 24)
2. Requisitos mínimos de diseño para evitar accidentes. En el análisis de riesgos por accidentes, comparado con el uso de carreteras convencionales, se definen cuatro conclusiones: La Frecuencia de accidentes por miles de vehículos/km producidos en túneles, es menor que en cualquier tipo de carreteras; La frecuencia de accidentes en túneles respecto a carreteras por Colisión frontal-trasera son semejantes y por Colisión frontal son menores; El gradiente de muertes por accidentes en túneles, decrece en el siglo XXI; Evitar la combinación de frecuencias vs. consecuencias abarcadas en situaciones que provoquen daños señalados en “rojo” (No deseado) y “amarillo” (Inaceptable) (ver Anexo 25)
3. Las causas principales de los accidentes vienen dadas por somnolencia del conductor provocado por el cansancio ocular (El color constante de las paredes del túnel y la constante intensidad de las luces) y los incendios por colisiones u otras causas provocado por colisiones, vuelcos y desperfectos técnicos (ver Anexo 26)
4. Requisitos mínimos específicos impuestos por la normativa. Materiales de la Construcción. A partir de los efectos más importantes que actúan sobre la estructura y las partes componentes de un túnel, se concentran en: Solicitaciones provocadas por el terreno circundante; la presión del agua subterránea; Altas temperaturas generadas por incendios. ($40 \text{ kW/m}^2 = 300^\circ \text{ C}$ en pavimento asfáltico) centrándose sus soluciones en revestimientos y pavimentos con materiales acordes y resistentes (ver Anexo 27)

A partir de los Requisitos prefijados por la **Normativa CETU del Centro de Estudios de los túneles. Francia. 2018**, la Comisión del Parlamento Europeo establece un conjunto de **Principios de Diseño de los Túneles de Carreteras** que podemos agrupar de la forma siguiente:

Para la Ventilación en Explotación combinando la Longitudinal y la Transversal con ventiladores axiales (ver Anexos 28 y 29)

1. Para la Ventilación en Emergencias combinando la Longitudinal y la Transversal con ventiladores axiales, destinando un grupo de ventiladores en cantidades adicionales empleados solo en emergencias para aumentar el caudal de humos a mover. (ver Anexo 30)
2. Para la Iluminación en Explotación y en Emergencias, atendiendo al nivel de captación de la visión del conductor en las zonas de acceso, umbral, transición, central y salida, emplear una combinación de luminarias de VSPA y LED (ver Anexo 31)
3. Para el Enfrentamiento de Accidentes(emergencias), se emplearán todos los elementos que posee el túnel en una combinación de: refugios contra incendios y humos, túnel de escape, sistema de puertas cortafuegos, sistema contra incendios automatizado e hidrantes y sistema auxiliar de extracción de humos (ver Anexo 32)

Para el Diseño de los Elementos Estructurales del túnel, partiendo de los Requisitos Mínimos para el Diseño señalados anteriormente, se precisan los elementos componentes de:

1. La Sección Transversal de la Galería Principal serán: Un tubo dividido en tres áreas, Inferior para inyección de aire fresco y recogida de aguas del drenaje y la limpieza, así como líquidos derramados; Intermedia con dos carriles y aceras; Superior con la extracción de humos y vapores calientes. (ver Anexo 33),

2. La Sección Transversal de la Galería Principal con apartadero (bahía) serán: Un tubo dividido en tres áreas, Inferior para inyección de aire fresco y recogida de aguas del drenaje y la limpieza, así como líquidos derramados; Intermedia con tres carriles y aceras; Superior con la extracción de humos y vapores calientes. (ver Anexo 34),
3. La Sección Transversal de la Galería Auxiliar con refugio serán: Un tubo dividido en dos áreas, Inferior para el carril de circulación y aceras y los drenajes de aguas infiltradas o de limpieza; Superior con inyección de aire fresco y la extracción de humos y vapores calientes por las salidas en ambos extremos. (ver Anexo 35),
4. A partir de los elementos anteriormente expuestos como Requisitos Mínimos se precisan los Requisitos Técnicos, y se propone asumir la **Normativa Resumen de la Eurozona** (*Summary of Minimum Requirements*) donde se fijan los elementos componentes del túnel en cuatro categorías: Obligatorio para todos los túneles (*Mandatory for all tunnels*); Obligatorio con excepciones (*Mandatory with exceptions*); No obligatorio (*Not mandatory*); Recomendado (*recommended*) (ver Anexo 36).

Por otra parte y partiendo de los mismos Requisitos Mínimos, se precisan los específicos definiendo para el Análisis de Costos, la imposición de un Costo Porcentual por cada kilómetro de túnel terminado, donde se evalúan las Actividades Ejecutivas según el suelo, el entibamiento y el revestimiento necesario y las Instalaciones de Sistemas a partir del Costo Total. Este criterio no es nuevo, se viene empleando por las Normativas estadounidenses, rusas, alemanas y mexicanas desde la década del 50 del siglo XX conformando un requisito para la búsqueda de financiamientos que permitieran la ejecución de estas obras, pero ahora queda establecido por Ley en la Eurozona (ver Anexo 37)

2.2. Documentos normativos para el diseño de un túnel de carretera.

Es bueno señalar que en el estudio realizado para el presente trabajo aparecen documentos normativos en diferentes países por zonas geográficas, elaborados y aprobados en su momento por las instituciones estatales al más alto nivel y que han venido actualizando estos documentos a partir de las normativas que va emitiendo la Eurozona, no solo procedentes de la CETU de Francia, sino de países como España, Austria, Alemania. Tal es el caso del Manual de Proyectos Geométrico de Carreteras de México^[2], emitido inicialmente en el año 1991 y aprobado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de ese país, el cual abarca prácticamente todas las especialidades que intervienen en el diseño y construcción de un túnel entre las que están: topografía, geología, distribución espacial, diseño estructural, definición de los portales, definición de los gálibos, secciones transversales, sistema vial, ventilación, control de tráfico, señalización y balizamiento, Sistema Contra Incendio (SCI), equipamiento hidráulico, iluminación, suministro eléctrico, equipamiento eléctrico, Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), Detección Automática de Incidentes (DAI), Sistema de comunicaciones, gestión centralizada (Sala técnica y de control) y estaciones remotas, las cuales se adaptan de forma parcial o total a las condiciones de diseño que se necesitan en Cuba y que proponemos como base para la confección de las normativas cubanas que permitan que durante el proceso de diseño de un túnel de carretera se tenga en cuenta por la entidad proyectista, los elementos generales que contribuyan a la adecuada explotación sobre la base del cumplimiento de las normas para este tipo de obra incluidos el factor económico durante la construcción, el mantenimiento, la seguridad a largo plazo y la sostenibilidad ambiental.

[2] Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 1991.

Las normativas de diseño para estas obras, deben abarcar detalladamente los elementos que permitan diseñarlas acorde a los requerimientos del terreno y el tránsito vehicular previsto de forma similar como lo describe el referido Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras de México, donde podemos encontrar definiciones que a continuación se describen.

2.2.1. Trazo en planta y perfil.

Los túneles de carretera se caracterizan por su trazado y sección, definidos por criterios geométricos de gálibos, pendiente, radio de curvatura y espacios necesarios para instalaciones, dependiendo el trazado en planta y perfil del túnel de los alineamientos de la carretera y de las características de ésta, con la que tiene que mantener una cierta homogeneidad, manteniendo su trazado en planta generalmente por la alineación horizontal de la carretera y normalmente no puede variarse de forma sustancial. No responde a un planteamiento único, ya que depende de la longitud, ubicación e incidencia sobre las laderas donde se alojan las obras de los portales, evaluando que el trazado debe tomar en cuenta ciertas consideraciones importantes respecto a la visibilidad, como evitar su pérdida a la salida, ya que el cambio de las condiciones de luz dificulta la percepción de la vía, pudiendo causar que el conductor disminuya de forma abrupta la velocidad. Por tanto, es de suma importancia una buena coordinación entre la orientación del túnel y la iluminación.

2.2.2. Topografía.

La topografía es el elemento más importante para el trazado de un túnel carretero. Es fundamental que la configuración topográfica no tenga errores significativos. Una mala definición del terreno se reflejará en los costos (mal cálculo del movimiento de tierras), o en que durante la obra se requieran cambios en la posición de los portales o en la geometría de los cortes o lo más grave, en un cambio en la longitud del túnel. Además, estos errores pueden llegar a afectar tiempos de ejecución, la construcción de estructuras anexas como puentes, viaductos y terraplenes, así como dañar, casas, edificios, caminos o instalaciones (gasoductos y líneas eléctricas), por lo que los trabajos deben realizarse con una recopilación de información que proporcione instituciones oficiales confiables. La

información consistirá principalmente en la obtención de las plantas de kilómetro, documento que contiene la alineación horizontal y vertical del camino y del túnel, así como la estadística correspondiente. Asimismo, se deberá recopilar la información del tipo de carretera, velocidad de proyecto, el tránsito diario promedio anual (TDPA) y la composición vehicular que transitará por la carretera.

2.2.3. Delimitación del área de estudio.

Se establecen normas para el ancho del levantamiento topográfico, a fin de que permita al proyectista replantear al menos tres variantes del trazado en planta del futuro túnel por lo que como norma el ancho del levantamiento topográfico en planta tendrá como mínimo 125 m a cada lado del eje longitudinal del túnel en proyecto. Si son túneles gemelos el ancho del área de estudio se considerarán los 125 metros para cada lado a partir de cada uno de los ejes. Para definir la longitud del levantamiento topográfico se considerarán 100 m a partir de la intersección del terreno con la rasante en cada uno de los accesos del túnel. En caso de que el terreno continúe paralelo o semiparalelo a la rasante, deberán levantarse por lo área definida para elaborar el proyecto, la cual deberá contener la configuración con curvas de nivel cada un metro, así como el eje de trazo del camino principal ubicado cada 20 m, la localización de caminos secundarios, las referencias del trazo, construcciones aledañas (indicando el tipo de construcción de que se trate), líneas de energía eléctrica, telegráficas y telefónicas, ductos, cercas o muros, caminos, simbología, etc. y todos los datos que se consideren necesarios para la elaboración del proyecto.

2.2.4. Levantamiento topográfico de detalle para diseño de portales y obras exteriores (cuartos o edificios de control).

Los portales del túnel (también conocidos como emboquillamiento), suelen ser un componente crítico de la obra debido a que, por lo general, se excavan en las partes más descomprimidas (y de peor calidad) del macizo y/o en zonas de depósitos de talud que incluyen espesores importantes de suelo. Los portales son sin duda las obras más complejas de todo el proyecto. Los levantamientos topográficos en las zonas de los portales tienen que contar con un alto nivel de detalle, con curvas de nivel a cada metro y

deberán dibujarse secciones transversales considerando las áreas destinadas a los cuartos o edificios de control.

2.2.5. Criterios generales para la definición de los portales.

La posición de los accesos al túnel (portales o emboquillamiento) se deberán analizar y plantear con varias alternativas, tomando en cuenta el derecho de vía, variando las ubicaciones de entrada y de salida, las pendientes de los taludes en los cortes, adecuando la longitud del túnel por excavar, la de los emboquillamientos y la de túneles falsos que son obras de hormigón armado construida a cielo abierto en las afueras del emboquillamiento para evitar que los deslaves o derrumbes con rocas obstruyan el acceso al túnel (Figura 2.1), así como la altura de los cortes. Los túneles falsos mejoran la funcionalidad del túnel, disminuyen los efectos visuales de atrincheramiento y choque frontal, además, estos túneles falsos con boquillas constituyen un acabado estético para la obra [3].



Figura 2.1. Túnel falso.

[3] PIARC. Technical Committee C.3.3 “Risk Analysis for Road Tunnels”, 2008.

2.2.6. Perfil longitudinal.

El proyecto del túnel deberá contener el perfil del terreno natural por el eje de proyecto, ubicación y elevaciones de la subrasante de proyecto, escalas horizontal y vertical indicando estaciones cada 20 m, y elevaciones cada 1,0 m, acotando las elevaciones cada 5,0 m; flechas indicando los destinos de la carretera en proyecto; estratigrafía del terreno, longitud de túnel excavado, ubicación de portales y túneles falsos.

2.2.7. Perfil del terreno.

La nivelación del terreno natural por el eje de proyecto consistirá en obtener las elevaciones de las referencias mediante nivelación diferencial en los puntos estacados cada 20 m, así como en los puntos principales del alineamiento horizontal y en los puntos intermedios de quiebre del terreno que presenten desniveles mayores de 0,50 m. En canales, arroyos, ríos y embalses se registrará el N.A.M.E. (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) observado en campo.

2.3. Sección transversal.

En el dimensionamiento de la sección transversal de un túnel de carretera entran en juego diversos factores: tipo de carretera, ancho necesario para la circulación de los vehículos, ancho de las aceras, necesidades geométricas de las instalaciones y equipamientos. Con base en lo anterior y de acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, es conveniente enunciar la clasificación de las carreteras de acuerdo a su Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA):

Tipo A

Tipo A2 para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos

Tipo A4 para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos

Tipo B para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos

Tipo C para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos

Tipo D para un TDPA de 100 a 500 vehículos

Tipo E para un TDPA hasta 100 vehículos

Para Cuba, serían importantes las carreteras del tipo A, B y C, las que al considerar las secciones geométricas, debemos observar según el rango de velocidad que se asuma para el proyecto, la definición de los peraltos correspondientes por lo que a velocidades de 80 - 90 km/hr estos deben ser del 5% y del 10 % para velocidades de 100-120 km/hr. tanto en túneles bidireccionales como en paralelos.

2.4. Gálidos horizontal y vertical.

El gálibo vertical es la altura mínima permitida para que los vehículos circulen de manera segura en el interior del túnel. En Europa el gálibo vertical por norma es de 5,5 m. medido de forma perpendicular a la calzada independientemente de la sobre elevación en los peraltos. El gálibo horizontal estará en función del ancho de la corona, siendo conveniente dejar un espacio de por lo menos 25 cm con respecto a las aceras del túnel para minimizar el riesgo de choque de las ruedas con estas estructuras (Figura 2.2).

2.5. Criterios generales para la configuración geométrica de la sección.

La definición de la sección interior debe de cubrir todas las necesidades geométricas que, de acuerdo con el tipo de carretera que se trate, puedan presentarse en los recorridos en túnel. Dicha definición partirá siempre de la situación más desfavorable que corresponde con la sobreelevación y sobreancho máximos en los tramos curvos. Además, cuando una carretera incluye varios túneles, siempre será conveniente homologar una geometría para toda la obra, ya que esto permite proyectar sostenimientos tipo, reutilizar cimbras y establecer criterios unificados para todas las instalaciones. Entonces, a partir de las dimensiones máximas de calzada puede fijarse la posición de las aceras, los gálidos y finalmente los arcos que conformarán la sección.

2.6. Evolución de la calzada en función del trazo y su influencia en la definición de la sección interior.

Para que la pendiente transversal de la corona pueda evolucionar adecuadamente en las transiciones entre tangentes y curvas es necesario que la sección interior del túnel sea capaz de alojar en su totalidad a los gálibos sin importar la posición que adquieran.

La experiencia constructiva ha demostrado que, en todos sentidos, resulta mucho más eficiente mantener una sección única y constante de la bóveda, alineada con un eje vertical, que obliga a que ésta gire en función de la pendiente transversal que va adquiriendo la calzada a lo largo de una curva (Figura 2.3), se muestra además la evolución de la calzada en tangente. Nótese que la cota de la junta de construcción en las zapatas se mantiene constante. Para otros diseños, siempre la cota baja se mantiene constante. (Figura 2.4 y 2.5)

2.7. Definición del ancho de calzada.

La calzada es la parte de la corona destinada al tránsito de los vehículos. El ancho de los carriles se estandariza en 3,50 m para todos los tipos de carretera: A2, A4 y A4S, B y C. El número de carriles debe ser el mismo que en la carretera troncal, de acuerdo con el tipo de vía, la intensidad de tráfico y el nivel de servicio. Los túneles de carretera generalmente tienen dos carriles y en ciertas circunstancias tres. Si fueran necesarios cuatro carriles es preferible la opción de dos túneles paralelos de dos carriles cada uno, ya que las dificultades constructivas crecen debido al aumento del ancho de la excavación. En el caso de Noruega, de acuerdo con el Manual de Túneles de Carretera de la Administración Noruega de Carreteras Públicas ^[4], las categorías de túneles, en función del TDPA, se definen mediante la siguiente figura 2.6

[4] Norwegian Public Roads Administration, 2004; Road Tunnels, No. 021 in the series of handbooks, Printed by: NPRA Printing Center, ISBN 82-7207-540-7

2.8. Aceras (Banquetas).

En túneles de dos y tres carriles cuya longitud es menor a 500 m, no es muy frecuente el paso de peatones por las aceras y el uso de éstas se limita a los usuarios de vehículos averiados y a los empleados de mantenimiento. Por ello se considera un ancho de acera de 50 cm. En el caso de túneles mayores a 500 m de longitud, sí se considera una circulación más frecuente de peatones; por un lado, al tener más equipamiento, requieren de un mayor número de operaciones de mantenimiento y por el otro, hay más usuarios que transitan hacia salidas de emergencia, bahías, nichos o aparcaderos; por lo anterior estas secciones consideran aceras de 85 cm de ancho. (Figuras 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10)

2.9. Sección Geométrica de los Túneles para carreteras Tipo A2.

De forma similar a como se ha explicado anteriormente, se detallan cada uno de los elementos que deben llevar la sección detallando las normativas para los túneles mayores y menores de 500.0 m de longitud. [5]

2.9.1. Túneles de longitud menor a 500 m.

La sección propuesta está diseñada para funcionar en sentido bidireccional, con 2 carriles de 3,5 m cada uno. Siempre será importante mantener constantes tanto el ancho de corona como el gálibo. Para esto, la sección interior debe ser simétrica hasta la junta de colado de las zapatas del revestimiento definitivo conservando un espacio libre de corona de 12,30 m y un gálibo de 5,50 m. (Figuras 2.11 y 2.12) en ellas, se muestra una sección transversal cuya línea de contorno está compuesta por tres arcos: uno central de 8,30 m de radio y 96.00° de apertura y dos laterales de 4,26 m de radio y 60.16° de apertura. La parte inferior de los hastiales (paredes), consiste en segmentos rectos de longitud variable que van desde la junta de colado hasta una acera de 50 cm de ancho.

[5] PIARC. Technical Committee C.3.3 “Risk Analysis for Road Tunnels”, 2008.

2.9.2. Túneles de longitud mayor a 500 m.

Para este tipo de carreteras la geometría del túnel es muy similar a la de túneles con longitud menor a 500 m; con la diferencia que, al requerir más operaciones de mantenimiento, contempla una acera de 85 cm de ancho (Figura 2.13). La sección transversal en este caso es diferente en su línea de contorno, la cual está compuesta por tres arcos, uno central de 8.30 m de radio y 96.00° de apertura y dos laterales de 5,05 m de radio y 51.13° de apertura. La parte inferior de los hastiales consiste en segmentos rectos de longitud variable que van desde la junta de colado hasta la acera que tiene un ancho de 85 cm. (Figura 2.14)

En Cuba son poco usual los TDPA de 5000 a 20000 vehículos, por lo que no nos detendremos a detallar las características de estos de túneles que corresponderían al Tipo A4 y A4S

2.9.3. Zapatas del revestimiento y juntas de construcción.

Para el diseño de las zapatas se tomará en cuenta el espesor de pavimento y del revestimiento definitivo que den como resultado los análisis realizados durante la elaboración del proyecto.

2.9.4. Faja separadora central.

La faja separadora central deberá proyectarse únicamente en carreteras Tipo A4. Las barreras centrales son dispositivos de seguridad que se emplean para dividir los carriles de circulación contraria y su objetivo es incrementar la seguridad de los usuarios al prevenir que los vehículos invadan los carriles inversos. También pueden servir para disipar la energía del impacto en casos de accidente. Normalmente son prefabricadas, de hormigón simple o reforzado y también existen las metálicas. (Figura 2.15)

2.9.5. Bahías de emergencia.

La parada accidental, por avería o choque de un vehículo en el interior de un túnel, puede producir una perturbación importante en el tráfico o un accidente grave. Tomando en cuenta algunas experiencias y la normativa internacional, en túneles de longitud mayor a

1000 m es necesario diseñar bahías de emergencia que permitan alojar vehículos averiados o con algún otro tipo de incidencia. Dichas bahías pueden hacerse coincidir con las galerías de conexión vehiculares, siempre y cuando éstas tengan libre acceso al túnel en caso de emergencia.

Las bahías de emergencias se sugieren sean de una longitud efectiva de 50 m, de 3,5 m de carril y espaciadas en distancias no mayores a 250 m por sentido de circulación; se diseñan alternadas para evitar construir una enfrente de otra. (Figuras 2.16, 2.17 y 2.18)

2.10. Criterios generales para la ubicación de bahías de emergencia.

La cantidad, distribución y separación de las bahías de emergencia dependerá de la longitud del túnel, de su condición unidireccional o bidireccional y de las necesidades particulares de cada proyecto. Se deberán tomar en cuenta los siguientes criterios para asegurar la funcionalidad de las bahías, así como su construcción: (Figura 2,19)

Las primeras bahías de emergencia deberán ubicarse a partir de 400 m de distancia desde los portales.

En el caso de túneles que requieran una sola bahía de emergencia, ésta se ubicará al centro del túnel; sí el túnel es bidireccional, no se diseñaran dos bahías en el mismo estacionamiento ya que la sección de excavación sería demasiado grande.

Las bahías de emergencia que se encuentren en diferentes sentidos de circulación, deberán tener una separación entre ellas de al menos 100 m.

Las bahías podrán ubicarse en los lugares donde existan salidas de emergencia (galerías de conexión), siempre y cuando estas tengan libre acceso al túnel, sin que un vehículo descompuesto obstruya el paso de los vehículos de emergencia o la salida de personas.

2.11. Túneles de escape o de emergencia.

En túneles de longitud mayor a 1500 m que no tengan contemplado un túnel paralelo (túnel gemelo) es necesario proyectar un túnel de escape o de emergencia paralelo al túnel de diseño. Las dimensiones de este túnel o galería de escape deberán ser suficientes

para permitir el paso de los vehículos de emergencia; además de contar con galerías de conexión las cuales pueden hacerse coincidir con las bahías de emergencia. (Figuras 2.20 y 2.21)

2.12. Galerías de conexión.

En túneles gemelos y en túneles con galería de escape será necesario proyectar galerías de conexión con la finalidad de dar acceso a los vehículos de emergencia o para evacuar personas de manera rápida y eficiente. Las galerías de conexión se diseñarán a una distancia no mayor a los 400 m; en caso de túneles gemelos de menos de 500 m de longitud se proyectará al menos una galería de conexión a la mitad del túnel.

2.13. Locales de aislamiento en situaciones de emergencia.

A lo largo del túnel con una separación entre ellos de aproximadamente 1000 m se ubican los refugios presurizados para evacuar al personal en caso de emergencia, fundamentalmente incendios. Puede hacerse coincidir estos locales con las bahías de emergencia. Los mismos están equipados con todos los medios necesarios para lograr una estancia segura y prolongada entre los que podemos citar: Iluminación ininterrumpida, agua potable, comunicación telefónica entre otros. En túneles menores de 1000 m no se construyen este tipo de local por ser antieconómico y además con estas distancias es factible abandonar el lugar de la emergencia en dirección a las salidas. (Figura 2.22)

2.14. Instalaciones tecnológicas y de seguridad en túneles.

La adopción del nivel de equipamiento con el que se pretende dotar al túnel depende básicamente del nivel de tránsito que soporte el mismo; A mayor volumen circulatorio y sobre todo con circulación de vehículos pesados o mercancías peligrosas, aumenta la probabilidad de que se produzcan incidencias en su interior, por lo que más completas tendrán que ser las instalaciones de explotación y seguridad. En cambio, en túneles cortos, de vías secundarias muchas veces no se dispone casi ninguna instalación, ya que su costo de implantación y mantenimiento, no se justifica por el nivel de tránsito.

2.14.1. Área para instalaciones.

Al dimensionar la sección del túnel, se debe tener en cuenta la ubicación de las instalaciones. La iluminación no requiere demasiado espacio, aunque es conveniente colocarla por encima de la altura de gálibo y obedece a un diseño específico. La señalización vertical suele ubicarse sobre las aceras o por fuera del gálibo. Por otra parte, las canalizaciones para cables, comunicaciones y otras instalaciones se suelen colocar bajo las aceras o adheridas al hastial en bandejas porta-cables. Si se trata de ventilación longitudinal debe dejarse un espacio suficiente en la bóveda para los equipos, teniendo en cuenta que su diámetro puede alcanzar los 1,5 m. (Figura 2.23)

2.14.2. Ventilación de explotación.

El estudio de la ventilación en un túnel de carretera tiene la finalidad de reducir a límites aceptables la concentración de gases tóxicos y humos expulsados por los vehículos que circulan en su interior, teniendo en cuenta los parámetros de óxidos de carbono y los humos provenientes de los motores de los vehículos que afectan a la visibilidad.

2.14.3. Parámetros que afectan la concentración de humos.

La cantidad y composición de humo dentro de un túnel, varía sensiblemente en función de diversos parámetros que a continuación se describen:

1. Pendiente (en el túnel y en los accesos)
2. Altura o nivel sobre el mar
3. Composición del tráfico
4. Fluidez del tráfico
5. Si es unidireccional o bidireccional
6. Cantidad de pozos verticales de ventilación que tenga el túnel.

Las condiciones del túnel, del tráfico y su longitud, serán las que determinen el sistema de ventilación artificial más adecuado para cada caso, siendo conveniente dotarlo del correspondiente sistema de control. (Tablas 1, 2, 3 y 4)

2.14.4. Sistemas de ventilación.

Se emplean habitualmente 4 sistemas distintos de ventilación, dependiendo de los factores tales como la longitud, la intensidad del tráfico o sentido de este, aunque existen túneles con sistemas híbridos. Los mismos son: Ventilación natural, Ventilación longitudinal, Ventilación semitransversal y Ventilación transversal. Estos sistemas fueron contemplados en la investigación, los cuales son:

Sistema de ventilación natural.

La ventilación natural consiste en dejar que sea la propia circulación natural del aire por el túnel la que se encargue de evacuar los humos que se producen en su interior. (Figura 2.24)

Ventajas del sistema:

- a. No requiere la instalación de equipo mecánico alguno para la generación de flujo de aire.
- b. No requiere la instalación de ductos (metálicos, concreto, otros), solo se requiere la instalación de dispositivos de control de flujos de aire.

Desventajas del sistema:

- a. Es un fenómeno de la naturaleza inestable y fluctuante.
- b. Es altamente dependiente de las condiciones atmosféricas, por lo tanto, para la ventilación de las operaciones minero-subterráneas, incluido túneles, no debe ser utilizado este medio como único y exclusivo de ventilación, sobre todo si al interior de las instalaciones a ventilar, operarán equipos diésel.

Sistema de ventilación longitudinal con uso de Jet Fans (ventiladores de chorro).

Es aquella en la que se fuerza la circulación natural del aire a lo largo del túnel. Por uno de los portales entra aire fresco y por el otro portal contrario sale el aire viciado. El sentido de circulación del aire sería conveniente que coincida con el de la circulación de los vehículos cuando el túnel es unidireccional, con objeto de aprovechar el efecto pistón que producen éstos. Generalmente, los ventiladores se colocan en la clave del túnel cada cierto intervalo, aunque existen otros sistemas en que los ventiladores sólo se colocan en el portal de entrada del túnel, o en los pozos de ventilación intermedios. (Figura 2.25)

Ventajas del sistema:

- a. Son altamente efectivos para operar según disposición en serie, instalados preferentemente en las cercanías de ambos portales, en túneles carreteros y ferroviarios de tipo unidireccional de mediana longitud, en donde se requiere mover un alto caudal de aire por dilución de altos niveles de contaminación ambiental al interior de túneles (gases tóxicos, humos y calor emitidos por un alto número de vehículos livianos y pesados).
- b. No requiere la instalación de ductos.
- c. El costo unitario de inversión (adquisición) de los ventiladores de chorro es baja.

Desventaja del sistema:

- a. No son efectivos para generar movimiento de aire en túneles de gran extensión longitudinal.
- b.** Sistema de ventilación transversal. Es el sistema más complejo, más seguro y el que permite mayores longitudes de túnel y mayores intensidades de tráfico.
- c. Tanto el aire fresco como el aire viciado, circulan a lo largo del túnel por unos conductos situados generalmente en la clave del túnel, separados de la zona ocupada por los vehículos por un techo falso y con un muro divisorio entre

ambos. Uniformemente, a lo largo de la longitud del túnel, se impulsa aire fresco a su interior y se aspira el aire viciado. (Figura 2.26)

Ventajas del sistema:

- a. Es una de las opciones más efectivas en términos de control medio ambiental de operación de túneles.
- b. Alta efectividad en la ventilación de túneles viales, urbanos, bidireccionales, de baja o mediana longitud y alta intensidad de tráfico.

Desventajas del sistema:

- a. Requiere alto desembolso económico en conductos de ventilación.

Sistema de ventilación semitransversal.

En la ventilación semitransversal el aire fresco se impulsa desde el exterior por un conducto situado dentro de la sección del túnel, habitualmente en la clave y separado de la zona de circulación de los vehículos por un techo falso. Aproximadamente, cada 6.0 m este conducto comunica con el interior del túnel mediante unos difusores, puntos por los que entra el aire fresco. El aire viciado circula a lo largo del propio túnel y sale al exterior por los portales. (Figura 2.27)

Ventajas del sistema:

- a. Se constituye como la opción más efectiva en términos de control medio ambiental de operación de túneles.
- b. De alta efectividad en la ventilación de túneles carreteros, bidireccionales, de gran longitud y alta intensidad de tráfico.

Desventajas del sistema:

- a. Requiere el mayor desembolso económico con respecto a todos los demás sistemas.

Sistema de ventilación en emergencia

Como complemento de los sistemas antes enunciados y previstos para casos de emergencias, motivados por accidentes en el interior del túnel donde intervienen sustancias inflamables, los cuales son contemplados en los Requisitos mínimos específicos impuestos por la normativa. Materiales de la Construcción. (ver Anexos 27, 28, 29 y 30) se establecen los procedimientos operativos del túnel con el objetivo de maximizar el uso del sistema de ventilación para el removimiento y control de humo y gases calientes que son resultado de emergencia de incendio dentro del túnel. El sistema de ventilación de emergencia no deberá ser requerido en túneles menores a 1,000 m de longitud.

A. Control de humo. En todos los casos, la meta deseada deberá ser la de proporcionar un camino de evacuación para los automovilistas que están saliendo del túnel y para facilitar las operaciones de combate al incendio. En túneles con tráfico bidireccional donde los automovilistas pueden estar en ambos lados del sitio del incendio, se deben de alcanzar los siguientes objetivos:

- a. La estratificación del humo no debe de ser interrumpida
- b. La velocidad de aire longitudinal debe de mantenerse en magnitudes bajas
- c. La extracción de humo a través de aperturas del techo o aperturas elevadas a lo largo de los muros del túnel es efectiva y debe de ser considerada.

B. Objetivos del diseño. Los objetivos de diseño de los sistemas de ventilación de emergencia deberán controlar, extraer, o controlar y extraer humo y gases calientes como sigue:

- a. Una corriente de aire no contaminada se proporciona a los automovilistas en ruta (s) de salida de acuerdo con el previsto plan de respuesta de emergencia.
- b. Caudales de aire longitudinales se producen para evitar concentraciones de humo en un camino de salida fuera de un incendio.

2.14.5. Normas referente a los Sistemas de Ventilación para túneles de Carretera (Eurozona)

En el ámbito normativo, existen países de diferentes zonas geográficas, que asumen las normativas de la Eurozona, como es el caso de México, al no disponer de las Normas referente a los Sistemas de Ventilación para túneles de Carretera, tomando como referencia el reglamento del Parlamento Europeo, aprobado el 29 de abril de 2004 por la directiva 2004/54/CE (ver Anexo 23) sobre Requisitos Mínimos de Seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras y normas Europeas Vigentes.

En el proceso de nuestra investigación, evaluamos las Normas vigentes en diferentes países de la Eurozona y señalaremos las más importantes que regulan la seguridad en túneles:

2.15. Normativas del Ministerio de Transportes, sobre túneles carreteros.

1. IOS-98 (Normativa Española de Túneles) - BOE del 1 de Diciembre de 1998 por el Ministerio de Fomento, Instrucción para el proyecto, construcción y operación de obras subterráneas para el transporte terrestre, donde se fijan los sistemas mínimos necesarios en los túneles, determina la necesidad de ciertas instalaciones (ventilación, iluminación, energía, sistema contra incendios, señalización y control de tráfico, etc.) en función de características del túnel como longitud, tráfico (frecuencia y tipo), trazado, sección, etc., que clasifican a los túneles según tres niveles de servicio.
2. Manual de Autoprotección – Real Decreto 132 de 29 de junio de 1990. En él se describen las directrices para la elaboración de un Plan de Emergencia contra Incendios y de Evacuación de Locales y Edificios. Aunque este Manual no se

refiere directamente a operaciones como las de un túnel, viene siendo la única orientación para la definición de los recursos movilizados en túneles viarios en respuesta a incidentes y emergencias.

3. Transporte de Mercancías Peligrosas (R.D. 2115/1998 de 2 de octubre, B.O.E. 248 de 16.10.98).
4. Circular Interministerial francesa 2000-63 de agosto de 2000. Su publicación es resultado del trabajo de un grupo de expertos que analizaron el grave incendio del Mont Blanc. En ella se establecen procedimientos técnicos APRA para la puesta en servicio de nuevos túneles y modalidades de seguimiento de la operación. Igualmente, para túneles ya en operación, se define el trámite que han de seguir para acomodar equipamiento y obra de seguridad, junto a la operación y a las nuevas exigencias.
5. P.I.A.R.C. (Asociación Mundial de la Carretera) elaborada por el comité técnico de túneles carreteros.

Hasta ahora, las recomendaciones de la P.I.A.R.C, del Centro de estudio de los túneles (CETU) del Ministerio de Fomento del Gobierno Español y de otras instituciones Internacionales, junto a la elevada calificación de los operadores y proyectistas, han sido la guía a la hora de efectuar los proyectos, construcción y operación de los túneles.

Todo este conjunto de normativas y recomendaciones ha hecho que las exigencias sean mucho mayores para los responsables de operación de los mismos. Sin embargo, estos responsables no contaban con normas que definieran con precisión sus obligaciones y les garanticen la entrega de un túnel con unas condiciones de seguridad suficientes (obra civil, instalaciones e infraestructuras).

Finalmente, podemos afirmar que se desarrolla en esta esfera de las normativas, una cooperación internacional entre los países que tienen o construyen nuevos túneles al no disponerlas oficialmente o como resultado de sus investigaciones. Por ejemplo, la normativa española, el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carretera del Estado, **no establece pautas sobre qué**

sistema de ventilación utilizar según las características del túnel. Sin embargo, en otros países hay normativas o recomendaciones sobre ventilación en túneles, las cuales son utilizadas frecuentemente en España siendo igual de importantes.

Por tal razón, es común que se asuman normativas relativas a la ventilación en túneles de los diferentes países de la Eurozona o fuera de ella, enmarcadas en el siglo XX y XXI, las cuales se actualizan sistemáticamente a partir de nuevos estudios de casos realizados, entre las que podemos citar:

- a. Japón: Asociación de Carreteras. “Tunnel Ventilación Design Guidelines”, Japón, 1985
- b. Alemania: Norma Alemana en Túneles. (RABT 06)
- c. Países Bajos: “Ventilation of Road Tunnels”. Julio 1991
- d. Francia: Ventilation. Les dossiers pilotes du Cetu. Noviembre 2003
- e. Austria: “Design guidelines Tunnel Ventilation”, (FVS 97)
- f. Países Nórdicos: “Norwegian Design Guide – Road Tunnels” (PAR diciembre 1990)

2.16. Control de tráfico, señalización y balizamiento.

Para el mejor desarrollo de las operaciones del túnel que implica la independencia relativa de las acciones de los conductores de vehículos, resulta imprescindible el control de tráfico, señalización y balizamiento. ^[6]

[6] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, 2013.

Es así como desde los accesos, inmediatamente cerca de los portales, en el interior y a la salida del túnel se colocan medios de control de tráfico, señalizaciones y balizamientos de ayuda a la correcta explotación y seguridad de la obra, entre las que podemos citar: Señalización en los accesos al túnel, Instalaciones semaforicas, Barreras de cierre de túnel en portales en caso de incidencia, Paneles aspa-flecha luminosos para determinación de carriles abiertos a la circulación y sentido, Señales luminosas de limitación de velocidad, Paneles luminosos de mensaje variable, Señalización horizontal, Balizamiento lateral, Aforadores, Postes SOS con pulsadores de alarma e intercomunicadores con centro de control y Controladores de gálibo.(ver Anexo 38)

2.17. Sistema de seguridad de los túneles.

Dentro del sistema de seguridad de los túneles, se encuentra el Sistema Contra Incendios, visto en los Requisitos mínimos específicos impuestos por la normativa. Materiales de la Construcción. (ver Anexo 27 y 38) que actualmente cuenta con Sistemas de detección automática de incendios los que permiten detectar la presencia del fuego bien sea por un aumento de temperatura (cable detector lineal de incendios) o por un **incremento súbito en el nivel de humos**, es por ello que se exige que junto a los postes SOS se instalan extintores y Bocas de Incendio equipadas de manera que puedan ser utilizados por los usuarios, con un sistema de detección de utilización que da la alarma en el Centro de Control (también se detecta si son sustraídos). Estos postes estarán convenientemente señalizados lumínicamente para su fácil y rápida localización, y las Bocas de incendio están conectadas a la Red de agua a presión o columna seca de lucha contra incendios y postes de incendio (hidrantes) regularmente espaciados en el interior del túnel y portales. Esta red de extinción de incendio en el túnel, debe preverse que si el túnel presentase un punto bajo en su trazo, deberá instalarse una estación de bombeo con bombas de accionamiento automático. A su vez se dispondrá en la estación, de una bomba adicional a las necesarias, con objeto de poder utilizarse en caso de avería. En la actualidad, los túneles equipados con estos sistemas adicionan el de extinción de incendios automático (Sprinkler) como se muestra en la figura 2.28.



Figura 2.28. Sistema Automático contra Incendios (Sprinkler)

En los Principios de Diseño de los Sistemas, se precisa con mucha importancia la instalación de iluminación de las distintas zonas del túnel. Como ayuda a la iluminación del túnel puede ser conveniente la disposición de hitos reflectantes en los laterales del túnel que permitirían guiar a los vehículos en caso de falla de la iluminación (ver Anexo 38). En túneles importantes estos hitos son luminosos y están conectados al sistema SAI (Sistema de alimentación ininterrumpida).

2.18. Sistema de Iluminación.

Como otro de los elementos componentes de este Sistema de Iluminación, son las luminarias que se distribuyen a lo largo del túnel, las que deben permitir el correcto y cómodo desplazamiento de los vehículos por su interior. Generalmente se combinan diferentes tipos de estas luminarias en dependencia de la zona del túnel de que se trate, buscando garantizar un nivel de luminosidad aceptable para el conductor (ver Anexo 31) entre las que encontraremos:

1. Vapor de sodio de alta presión (VSAP) Estas se caracterizan por ofrecer la mejor relación l m/W por lo que son ampliamente usadas en el alumbrado de túneles. Su vida útil llega a las 18000 horas (más de dos años de funcionamiento continuo) Sus capacidades de regulación posibilitan la reducción del consumo en determinadas condiciones de horario o tráfico. Por el contrario, tiene desventajas como su reducida capacidad de reproducción cromática. Éstas quedan

compensadas por los altos niveles de iluminación y contraste conseguidos en túneles.

2. Fluorescentes (FL) Tienen como ventajas una mejor calidad cromática y la posibilidad de relación continua del nivel de alumbrado si se añade a la luminaria el correspondiente balastro electrónico, sin embargo en túneles donde se han instalado fluorescentes en el interior, es normal usar lámparas de halogenuros metálicos o de vapor de sodio en la entrada donde los requerimientos luminosos son mayores, ya que el rendimiento lumínico de estos es mayor.
3. Halogenuros Metálicos (HM) Las lámparas de halogenuros metálicos ofrecen una elevada eficacia luminosa a la par de una buena reproducción cromática. Su duración es alta aunque queda por debajo de la vida de una VSAP. Necesitan para su funcionamiento tanto cebadores como reactancias. Requieren un período de cebado de unos cuantos minutos y una fase de enfriamiento prolongada, antes de que se puedan encender de nuevo. Por su alta eficacia y se suelen usar en las bocas de los túneles donde se necesitan altos valores de luminancias.

LEDS. Las luminarias LED emiten una luz más blanca respecto a las luminarias de vapor de sodio de alta presión que habitualmente se utilizan en el alumbrado de calles. Esto permite visualizar mejor las formas y colores frente a la iluminación anaranjada de las farolas tradicionales de vapor de sodio, cosa que mejora la sensación de seguridad y confort visual. La tecnología LED emite una luz clara de color blanco puro que reduce la fatiga visual, disminuye el tiempo de reacción y reproduce de forma real los colores, ofreciendo una percepción visual saludable y segura.

2.19. Suministro y equipamiento eléctrico.

La totalidad de estos Sistemas establecidos en las normativas, requieren de alimentación eléctrica, por lo que el establecer las fuentes de suministro es un elemento imprescindible para el diseño del túnel. Sin embargo, estas obras no siempre se encuentran cercanas a fuentes permanentes y potentes para su alimentación, por lo que cada túnel es un caso particular y debe ser objeto de un análisis específico en función de su situación

geográfica, del conjunto de las líneas eléctricas existentes, de las condiciones de alimentación prioritarias o no, de las posibilidades de aumentar o no la potencia, de la fiabilidad de las líneas existentes, de los riesgos inherentes al túnel de las condiciones de intervención de los servicios de emergencia. Además, resulta necesario en caso de corte del suministro eléctrico, prever un sistema de alimentación alternativa de emergencia, de manera que permita su funcionamiento durante un cierto periodo de tiempo. Para ello se debe disponer de uno o más grupos electrógenos lo cual dará un mayor plazo para establecer las medidas. En todos los casos, **con o sin grupo, se dispondrá de un sistema SAI** (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), al que estarán conectadas solamente las instalaciones básicas para la seguridad y para las condiciones mínimas de explotación. El SAI, opera mediante baterías autónomas. Este sistema permite que en caso de falla del suministro eléctrico (instantes entre el corte de suministro y la puesta en marcha del grupo electrógeno), o en caso de agotamiento del combustible del grupo, disponer de un intervalo de tiempo suficiente para poder tomar las medidas y decisiones necesarias de seguridad.

A este SAI, estará conectado permanentemente el Circuito Cerrado de Televisión (CCTV) que permite desde el centro de control observar directamente y en tiempo real, mediante un conjunto de monitores, la circulación de los vehículos y detectar rápidamente cualquier incidente. Las cámaras, que pueden ser fijas o direccionales, normalmente se sitúan en la zona alta de la sección (clave) y habitualmente a una distancia de 100 m de separación entre ellas, evitando que queden zonas en sombra. En zonas determinadas se pueden instalar más cámaras como zonas de acceso a galerías de evacuación, en los exteriores para la vigilancia de los accesos y portales (muy importante que estas sean direccionales), o alguna en contrasentido, en la boca del túnel, para evitar la falta de visibilidad por el deslumbramiento exterior. Es conveniente la instalación de un sistema videograbador para poder dejar constancia de ciertos incidentes (ver Anexo 38)

2.20. Centros de Control, Sistema de Detención Automática de Incidentes y Sistemas de Comunicación.

Los Centros de Control de los túneles poseen software específicos para analizar de forma automática los incidentes que se avizoren por el CCTV conformando el Sistema de Detección Automática de Incidentes (DAI). Siendo su objetivo principal de la detección automática de incidentes es utilizar la propia instalación de cámaras de video vigilancia y avisar al operador ante la presencia de un hecho que perturbe la fluidez del tránsito o que ponga en peligro la seguridad de los usuarios de la carretera.

Para una correcta operación de los túneles, es necesario un Sistema de Comunicaciones seguro, eficiente y estable, que permita la constante actuación desde el Centro de Control hacia el interior del mismo y viceversa El diseño del mismo partirá de un cable coaxial radiante, que lo conforma un cable coaxial estándar, al cual se le han realizado unas perforaciones en el conductor exterior. En un cable radiante se intenta que pierda señal de una manera controlada. Al perder señal el cable, dicha señal pasa al exterior y se proporciona cobertura en el túnel.

Todas las operaciones de los túneles, se dirigen y controlan desde el Centro de Control o Centro de Explotación (Sala Técnica y Control) (Figura 2.29) desde donde se ejecuta esta gestión de forma centralizada. Esta instalación se diseñan para los túneles de más de 1000.0 m de longitud debido a su gran importancia, desde el que se vigila y controlan todas las instalaciones y operaciones del túnel. Cuenta con presencia continua de personal de vigilancia y paneles sinópticos.

En él se ubican todos los medios materiales y humanos necesarios para el mantenimiento y la explotación (aplicaciones informáticas, comunicaciones, maquinaria, talleres, repuestos, personal de operación y mantenimiento).



Figura 2.29. Centro de Control o Explotación de un túnel.

Estas operaciones que regula e indica en Centro de Control necesitan fluir desde el túnel hasta este y viceversa, para lo cual se diseñan las estaciones remotas que establecerán diversos puntos de concentración de señales por zonas de túnel y de ahí serán reenviadas al sistema central de control (Centro de Control). Estas por tanto formaran parte del Sistema de Gestión Centralizado (SGC) con los sistemas de adquisición de información, transmisión y control centralizado y telemando.

2.21. Conclusiones preliminares del capítulo.

En el presente Capítulo, se ha mostrado la amplia y detallada forma en que están definidas las Normas de Diseño para los Túneles de Carreteras que se emplean en diferentes países por zonas geográficas del mundo y que son fruto de la investigación casuística de estas obras, las cuales se intercambian entre países, a fin de perfeccionar los diseños de estas importantes y necesarias obras para los sistemas viales. Al tener en cuenta que son las que mejor se adaptan a las necesidades de transportación por carretera en Cuba, consideramos que estamos en condiciones de proponer, a manera de ilustración, el diseño de un túnel de carretera en Limonar, provincia de Matanzas, que contribuya al mejoramiento de su desarrollo vial y al mismo tiempo sirva como una aproximación a los elementos regulatorios que lleven a la elaboración de estas Normas de Diseño específicas para nuestro país, dándole de esta forma cumplimiento a los Objetivos Específicos No. 2, 3 y 4 de la investigación.

CAPÍTULO III. PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE UN TÚNEL DE CARRETERA EN LIMONAR, MATANZAS.

Como ya fue analizado en el capítulo anterior, existen experiencias en el siglo XX en nuestra provincia sobre la construcción de túneles ferroviarios, no así los destinados a carreteras, los cuales desde el punto de vista del diseño no difieren sustancialmente en sus requisitos mínimos y técnicos se adecúan a la designación particular que se le den a estas obras.

La provincia, geográficamente hablando, posee la mitad de su territorio en su línea central ocupado por una cordillera de medianas elevaciones que se extiende desde la provincia de Mayabeque en la actualidad y que por razones históricas se le nombran Alturas Habana-Matanzas o Cordillera Habana-Matanzas, desde el límite occidental de nuestra provincia, colindante con la provincia de Mayabeque, en el Municipio Matanzas y concluye en el Municipio de Jovellanos con alturas predominantes en la loma del Pan de Matanzas (al norte) y la loma del Jacán (hacia el centro) la cual limita la comunicación norte-sur de la provincia por su red vial, presentando conexiones entre la vía más al norte Vía Blanca con la situada más al sur Autopista Nacional a través de carreteras sinuosas, con pendientes y pasos a media ladera en casi todo su desarrollo, que obligan la circulación a bajas velocidades alcanzando la citada Autopista Nacional (AN) a la altura del Kilómetro 92 y el Kilómetro 104 provenientes desde el llamado circuito sur (Matanzas-Unión de Reyes-Bolondrón-Pedro Betancourt y poblados intermedios) que dificulta en extremo la conexión de las ciudades de Matanzas y Cárdenas con esta importante vía comercial (AN), obligando a la sobre explotación de la Vía Blanca para solucionar el arribo de mercancías y personas desde el puertos y aeropuerto de La Habana y Artemisa (ZEDM) y la salida de mercancías y combustible desde el puerto de Matanzas y la zona productora de petróleo de Cárdenas-Varadero.

En este capítulo, considerando las Normas de Diseño de túneles de carretera de la Eurozona descritas y analizadas en el capítulo anterior, propondremos el diseño de un túnel de carretera para la provincia de Matanzas que serviría al mejoramiento de su red

vial y como una aproximación a los elementos regulatorios que lleven a la elaboración de las Normas de diseño de túneles de carretera, específicas para nuestro país.

3.1. Necesidades de la construcción del túnel de carretera en Limonar, Matanzas.

La provincia de Matanzas cuenta con una red vial desarrollada en la medida de sus necesidades (ver Anexos 39 y 40) que permite introducir en algunos de sus tramos, obras destinadas a túneles de carretera.

Actualmente existen tramos de carreteras ubicados sobre las Alturas Habana-Matanzas, con relativa baja explotación que están vinculados a vías de superior categoría y mayor tránsito vehicular, no poseen una amplia utilización debido a las características del trazado y pueden servir de soporte a un túnel de carreteras que mejoraría notablemente su circulación, garantizando incluso un cuarto enlace entre la Vía Blanca y la Autopista Nacional que además del empleo comercial, sería de mucho interés para el Dispositivo Defensivo Territorial de la provincia; ejemplo de lo anterior lo constituye la carretera que une la Carretera Central con la carretera del llamada Circuito Sur, partiendo del entronque de Caobas, pasando por el poblado de Zequeira y concluyendo en el pueblo de Bolondrón, la cual cruza de norte a sur la referida Cordillera. La baja explotación se debe fundamentalmente al estado de la vía y a la existencia de un tramo descendente en curva de aproximadamente de un kilómetro, extremadamente peligroso por presentar poca visibilidad y pavimento resbaladizo, fundamentalmente en época de lluvias, además de cruzar por una zona de desarrollo ganadero con un alto índice de entronques secundarios con esta vía principal, curvas, cambios de rasantes y profundas cunetas.

Precisamente en este tramo pudiera construirse un túnel de carretera que garantizaría condiciones seguras para la circulación vial que se propone, disminuyendo la longitud, aumentando la visibilidad, la velocidad de tránsito y la seguridad de circulación, el cual se ubicaría entre Zequeiras (cota +165.0) y Bolondrón (cota +212.0).

Sobre esta red de carreteras existen servicios importantes que coinciden sobre un mismo elemento vial como lo es el transporte turístico procedente de La Habana hacia y desde

Varadero, el transporte de mercancías destinadas al Polo turístico y el transporte de petróleo hacia la refinería "Nico López" en La Habana, todos sobre la Vía Blanca colocando a un mismo tiempo sobre esa vía *transportes de gran tara con sustancias peligrosas*, transportes de mercancías, *algunas de las cuales son inflamables*, gran cantidad de vehículos de renta y de *transportes masivos de personal* (turistas), todo lo cual cruza la *ciudad de Matanzas* y parte del *Polo turístico de Varadero*, desplazándose por sectores de carretera con grandes pendientes, curvas y puentes, algunos de los cuales están ya muy afectados por los años de explotación y obligan a reducir velocidad mientras se cruzan, entre ellos el Bacunayagua.

Nuestra propuesta va encaminada a desviar los vehículos de gran tara de combustible, los de mercancías y el transporte masivo de turistas, hacia la Autopista Nacional marcando una vía cuyo recorrido sería: Cárdenas-Cantel-Limonar-Caobas-Bolondrón-Hato de Jicarita (Km 104 de la AN), refinería "Nico López"-Aeropuerto Internacional "José Martí"-ZEDM (ver Anexos 41, 42 y 43). Cabe señalar que desde hace más de 30 años, existe a nivel de terraplén una vía bien conformada desde Cantel hasta Limonar a través del Valle de Guamacaro utilizada por la agricultura fundamentalmente, la cual se incorpora a la Carretera Central a la altura del paso superior del FF.CC Central en Limonar, que sería una obra importante de la infraestructura que requiere este nuevo trazado, con un estado avanzado de ejecución.

3.2. Complejidad de la vialidad en el recorrido propuesto.

La investigación en este aspecto, *la potenciamos en términos de eficiencia del transporte*, lo que nos trae el análisis comparativo de elementos viales de ambos recorridos propuestos en aquellos aspectos más notorios del trazado. (ver Anexos 44, 45 y 46)

Partiendo de los datos estadísticos disponibles de la Vía Blanca, establecemos las comparaciones siguientes:

1. Intensidad de vehículos/días/año.
2. Parámetros del recorrido vial.

3. Comparación de recorridos.

De este análisis podemos definir que:

- a. El recorrido sobre la Vía Blanca hasta la Refinería trae un ahorro de combustible de 17 lts /viaje, pero el trayecto posee elementos notables de peligrosidad como son la máxima pendiente de los dos trazados analizados (4 %) contra el 3% en el trazado propuesto y el cruce 15 puentes o intercambios viales contra 7 en el trazado propuesto.
- b. El recorrido sobre el trazado propuesto donde está incluido el túnel hasta el Aeropuerto Internacional "José Martí" y hasta la ZEDM, presenta un ahorro de 87.5 lts / viaje en ambos casos comparados con el mismo recorrido sobre la Vía Blanca. En el trayecto propuesto, al evaluar los elementos de peligrosidad se presentan pendientes máximas (en el tramo Zequeiras-Bolondrón del 3% (las que son reducidas al 2 % por el túnel) y cruzan por 9 puentes o intercambios viales, 6 menos que por la Vía Blanca.

Al evaluar en ambos trazados en el aspecto de peligrosidad la cantidad de intersecciones con caminos secundarios, en el trazado Vía Blanca-Refinería aparecen 28 contra 51 en el trazado propuesto concentrado en el tramo desde Caobas hasta Bolondrón con 24 (de los cuales se eliminan 16 con el recorrido por el túnel) y 8 en el tramo desde el km 104 de la AN hasta la Refinería que son entronques más regulados por la señalización vial.

Por otra parte evaluamos como un elemento de eficiencia, la disminución del deterioro de los vehículos que empleen el trazado propuesto y crucen por el túnel, al no sufrir la sistemática ondulación de la Vía Blanca desde Matanzas hasta el entronque de esta vía con la Vía Monumental que conlleva un sobre esfuerzo tanto de la técnica como de los operarios que tienen que esforzarse más en la conducción, además de las curvas verticales que abundan en este trazado.

Todo lo anteriormente evaluado, lleva a que el transporte por la Vía Blanca, se efectúe a una velocidad promedio muy inferior a la que se alcanzaría por el tramo propuesto

debido a que este resulta un trazado más seguro para la conducción con una disminución sensible de los elementos que puedan causar accidentes.

3.3. Propuesta de diseño del túnel de carretera en Limonar, Matanzas.

Veamos ahora, la propuesta de la obra a construir por el sistema de Obra Subterránea, en la zona que se extiende desde la Vaquería No. 12 al norte de Zequeiras (cota+165.0) cruzando bajo la elevación de las Alturas Habana-Matanzas y saliendo a la vaquería No. 22 (cota+212.0) con una extensión de 5400.0 m, con dos ascensos en curvas con pendientes del 2% máximo, superando los 47.0 m de diferencia de nivel entre la entrada Norte (Zequeiras) y la entrada Sur(Bolondrón), diseñado para 2000 vehículos/día y que permitiría conectar la Vía Blanca al norte, con la Autopista Nacional al sur, lo que brindaría una importante vía para el Dispositivo de Defensivo Territorial de la provincia (ver Anexos 41, 42 y 43)

3.3.1. Diseño de los portales.

Los accesos al túnel (portales) se combinarán con cortes escalonados de los taludes^[7], revestidos con el empleo de bulones de 25 mm y 2,7 m de longitud espaciados al tresbolillo con una separación entre bulones de un metro, mallas electrosoldadas de acero liso de 6 mm espaciado a 100 mm y hormigón proyectado (Gunitaje) de 30,0 MPa, túneles falsos, los cuales mejoran la funcionalidad del túnel al evitar el riesgo de desplomes de bloques sobre la calzada y un emboquillamiento de 400 mm de espesor fundido insitu con hormigón de 30.0 MPa reforzado con doble malla de acero 19 mm espaciado a 300 mm y con separadores de 250 mm. Además, estos túneles falsos vinculados con el emboquillamiento disminuyen los efectos visuales de atrincheramiento y choque frontal y constituyen un acabado estético para la obra.

[7] Departamento de Topografía de la Escuela de Ingeniería Civil, (1970), "Tratado de Topografía", Edición revolucionaria. Instituto del Libro.

3.3.2. Gálidos horizontal y vertical

Teniendo en cuenta los tipos de vehículos a circular por esta vía, asumiremos un gálibo vertical de 5,50 m. El gálibo horizontal será de 8,30 m. Se dejarán 0,25 m a cada lado con respecto a las aceras del túnel para minimizar el riesgo de choque de las ruedas con estas estructuras.

3.3.3. Aceras (Banquetas)

En el Túnel de Zequeira por ser mayor de 500 m de longitud, se considera una circulación frecuente de peatones. Al tener más equipamiento, requiere de un mayor número de operaciones de mantenimiento por lo que para estas secciones se proponen aceras de 85 cm de ancho. (Figura 3.1)

3.3.4. Definición del ancho de calzada.

La calzada es la parte de la corona destinada al tránsito de los vehículos, que en el diseño propuesto será de hormigón con un espesor de 150 mm y una resistencia característica de 30 MPa. Por ser carretera del Tipo B, el ancho de los carriles será de 4.15 m, manteniendo el mismo ancho y número de carriles que en la carretera troncal.

3.3.5. Secciones transversales principales

En el dimensionamiento de la sección transversal del túnel de carretera propuesto, entran en juego diversos factores: *tipo de carretera, ancho necesario para la circulación de los vehículos, ancho de las aceras, necesidades geométricas de las instalaciones y equipamientos*, entre otros. Con base en lo anterior y de acuerdo con los datos es conveniente enunciar la clasificación de la carretera de acuerdo a su Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA). En el caso que nos ocupa el TDPA está dado para un promedio anual de hasta 300 vehículos diarios, clasificando como una carretera del tipo A. Sin embargo, teniendo en cuenta que esta carretera enlaza dos vías de superior categoría: Carretera Central con un TDPA de 4164 vehículos diarios y el Circuito Sur con un TDPA de 1030 vehículos diarios clasificando como carreteras Tipo B, sería conveniente asumir que este tramo de carretera, una vez concluido el túnel, clasificaría igualmente

como Tipo B con un TDPA de hasta 1038 vehículos diarios, estimados como un 20 % de los vehículos que circulan por las dos carreteras anteriormente citadas (desde la Carretera Central: 832 vehículos y desde el Circuito Sur: 206 vehículos).

Esta situación nos llevaría a diseñar el túnel para un TDPA máximo de 2000 vehículos /día, lo que garantizaría un incremento del tránsito de hasta un 51.9 % en los próximos 50 años, teniendo en cuenta que este tipo de obras resulta muy complicada para modificarla y aumentarle sus capacidades no solo de circulación sino de todos los sistemas que brindan servicios a la misma. Veamos sus partes componentes.

Galería Principal

A partir de los requisitos mínimos analizados se propone el diseño de la Galería Principal con **un solo tubo** con **2 carriles** en su interior que permita doble sentido de circulación (tabla 5), dividido internamente en 3 áreas *superior* para extracción de gases y humos, *intermedia* para la circulación vial y la *inferior* para la inyección de aire fresco y extracción de aguas infiltradas y líquidos derramados. (ver Anexo 33)

Galería Principal con Apartaderos (Bahías)

A partir de los requisitos mínimos analizados se propone el diseño de la Galería Principal con Apartaderos (Bahías) (ver Anexo 34), **con un solo tubo** con **tres carriles** en su interior que permita doble sentido de circulación, dividido internamente en tres áreas: *superior* para extracción de gases y humos, *intermedia* para la circulación vial y la *inferior* para la inyección de aire fresco y extracción de aguas infiltradas y líquidos derramados.

Galería Auxiliar con refugio

A partir de los requisitos mínimos analizados se propone el diseño de la Galería Auxiliar con refugio. (ver Anexo 35), conectada a la Galería Principal por *galerías secundarias* de igual sección transversal que la Auxiliar, dividida en *dos zonas*, *superior* con inyección de aire fresco e *inferior* con la galería de circulación, drenajes de aguas y líquidos y evacuación de humos por los extremos de entrada y salida.

3.4. Instalaciones tecnológicas, de seguridad y señalizaciones en el Túnel de Zequeira.

La explotación de un túnel de carretera exige la implantación de una serie de instalaciones que aseguren el adecuado nivel de servicio y seguridad, tanto en régimen normal como en circunstancias excepcionales (accidentes e incendios), por lo que basándonos en los *Fundamentos de Diseño* ya analizados en capítulos anteriores, proponemos para esta obra los elementos que a continuación describiremos.

3.4.1. Ventilación de explotación y en emergencia

En el diseño del túnel se propone emplear la combinación del *Sistema de ventilación longitudinal con ventiladores Axiales* colocados en la zona de la clave del arco en la bóveda, espaciados en todo el desarrollo del túnel y *el Sistema de ventilación transversal con el uso de ventiladores axiales* inyectando aire fresco y extrayendo aire viciado y humos mediante pozos verticales o galerías. *Durante la emergencia* se empleará la misma combinación a partir del empleo de estos mismos ventiladores en cantidades adicionales empleados solo en casos de emergencias para aumentar el caudal de humo a mover.

3.4.2. Sistema de iluminación durante la explotación y en emergencia.

El sistema de iluminación a emplear se tiene en cuenta según el comportamiento del nivel de captación visual del conductor en el desplazamiento por el túnel, por lo anteriormente mencionado se propone la combinación de luminarias tipo LED con VSPA en la zona de los accesos y salidas a fin de compensar el desnivel lumínico en las mismas. A lo largo del túnel se colocará luminaria LED y en las cuevas se iluminará solamente con las de tipo VSPA. (Figura 3.2 y Figura 3.3)(ver Anexo 31)

3.4.3. Estaciones de emergencia

Las estaciones de emergencia consistirán en una caja metálica en la pared o preferiblemente una fenestración tipo puerta, que estarán equipados con al menos un teléfono de emergencia y dos extintores. Se proporcionarán cerca de los portales (a partir de los 400 m del acceso) y en el interior, a intervalos que no excederán los 150 m.

3.4.4. Centro de control y sistema de monitoreo

Contará con un centro de control que recogerá toda la información procedente de las instalaciones fijas y será permanente con mando automático y/o manual, entre estos están los sistemas de monitoreo de video y un sistema capaz de detectar automáticamente incidentes de tráfico (como detener vehículos) y / o incendios, estos se instalarán en todos los canales al centro de control, cumplimentados con un sistema automático de detección de incendios. El edificio del Centro de Control se construirá en las inmediaciones del portal Noroeste y en él se ubican todos los medios materiales y humanos necesarios para el mantenimiento y la explotación. (Figura 3.4)

3.4.5. Suministro y equipamiento eléctrico.

Las fuentes de energía son indispensables para el funcionamiento de los equipos. Se asegurará la alimentación desde el sistema Electro Energético Nacional (SEN) con dos alimentaciones en malla con conexiones a segmentos diferentes de la red de media tensión. Además se dispondrá de un grupo electrógeno principal y uno de reserva lo cual dará un mayor plazo para restablecer el suministro eléctrico en caso de una interrupción. El túnel dispondrá de un sistema **SAI** (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), mediante baterías autónomas, al cual estarán conectados todos los elementos básicos de seguridad. Este sistema permite que en caso de falla del suministro eléctrico (instantes entre el corte de suministro y la puesta en marcha del grupo electrógeno), o en caso de agotamiento del combustible del grupo, disponer de un intervalo de tiempo suficiente para poder tomar las medidas y decisiones necesarias de seguridad.

3.4.6 Salida de emergencia. Refugio.

Dispondrá de salidas de emergencia en caso de accidentes graves, incendio o vertidos de materias peligrosas. El túnel contará con refugios adosados a los hastiales del túnel con capacidad para 50 personas cada uno y estarán dotados de los medios de supervivencia necesarios como agua, luz, aire y telecomunicación.

3.4.7. Incendio. Detección y extinción.

Para la detección de incendio el túnel contará con opacímetros además de un cable fibroláser que se instalará en la clave a todo lo largo del túnel. Se dispondrá de dos fuentes de abastecimiento de agua conectadas a la obra mediante una red hidráulica, con su correspondiente equipo de bombeo y armarios equipados con mangueras, espumógeno y extintor para la extinción de incendios. Junto a los postes SOS se instalarán extintores de CO₂ y de polvo químico de manera que puedan ser utilizados por los usuarios, con un sistema de detección que da la alarma en el Centro de Control Estos postes estarán convenientemente señalizados lumínicamente para su fácil y rápida localización. (Figura 3.5 y Figura 3.6)(ver Anexo 38)

3.4.8. Control de tráfico y circulación.

Dispondrá de un circuito de televisión (CCTV) conectado al centro de control donde las cámaras tanto direccionales como fijas se situarán en la zona alta de la sección (clave) a una distancia de 100 m máximo, *evitando que queden zonas en sombra*, en los exteriores se instalarán cámaras direccionales adicionales para la vigilancia de los accesos y portales y una en contrasentido en la boca del túnel para evitar la falta de visibilidad por el deslumbramiento exterior; se instalará además un sistema videograbador para poder dejar constancia de ciertos incidentes, equipos de señalización como *semáforos*, *barreras* y *paneles alfanuméricos*, dispuestos a regular el tráfico en caso de accidente y equipamientos fijos para evitar la entrada de vehículos no deseados en razón de su galibo o tipo de carga. Contará con *sistemas para ordenar del tráfico* después de un accidente o incendio, en coordinación con los planes de emergencia. Otros aspectos a tener en cuenta son los refugios para la protección de peatones o personas de

mantenimiento, galerías transversales conectando los túneles en caso de separación de tráfico y bahías dentro del túnel para paradas de vehículos o zonas de maniobras. (Figura 3.7)

3.4.9. Sistema de comunicaciones

Contará en su diseño con *altavoces, intercomunicadores y teléfono con línea directa* para en caso de emergencia tener contacto con los bomberos y la policía de tráfico. Se instalará un cable coaxial radiante para garantizar las comunicaciones. Cada 100 m se colocarán postes SOS que permitan la comunicación con el centro de control. (Figura 3.8 y Figura 3.9)

3.4.10. Equipamiento hidráulico.

Dispondrá de una red de extinción de incendio en el túnel. Recuperación de aguas de infiltración recogidas en el propio punto para posibles usos, recordando que no es agua potable y no debe haberse mezclado con aguas procedentes del sistema de drenaje general.

3.4.11. Señalización y balizamiento

Se utilizarán señales adecuadas en la zona de advertencia anterior al túnel, dentro de este y al final del mismo (Figura 3.10)

La longitud se indicará junto con las instalaciones de seguridad del túnel y las obligaciones específicas de circulación dentro del mismo (velocidad máxima, separación entre vehículos) (Figura 3.11), los carteles de la Figuras 3.12 y 3.13 se dispondrán 50 m antes de la boca de entrada al túnel. Se indicará cada 500 m la longitud restante del túnel mediante panel alfanumérico.

En las estaciones de emergencia se situarán señales de información como la de teléfono y de extintores que estarán separadas al menos un metro y el pictograma de teléfono se presentará en la línea superior. En las estaciones de emergencia que estén separadas del túnel por una puerta, se indicará mediante un texto claramente legible que la estación de emergencia no garantiza protección en caso de incendio. (Figura 3.14)

Las señales que indiquen los apartaderos serán señales E acordes con el Convenio de Viena. Los teléfonos y extintores se indicarán mediante un panel adicional o incorporado a la propia señal (Figura 3.15)

Las señales que indiquen las salidas de emergencia deben ser señales G acordes con el Convenio de Viena (Figura 3.16). También se señalizará en las paredes las dos salidas más próximas (Figura 3.17).

Se colocará la señalización de los carriles de forma rectangular (Figura 3.18)

Se colocará antes de entrar al túnel señal de separación mínima que indica que cuando no se pretenda adelantar los vehículos deberán mantener una distancia de 100.0 m o un intervalo mínimo de cuatro segundos, si los vehículos tienen una masa máxima autorizada superior a 3.500 kg la distancia a guardar entre vehículos será de 150.0 m o un intervalo mínimo de seis segundos.

Se colocará antes de entrar al túnel señal de separación máxima que establecerá que se limitará la velocidad a 80 km/h, salvo que su geometría u otras características impongan menores velocidades.

Se señalizará las dos puertas de escape más próximas a la derecha e izquierda cada 25.0 m mediante señales fotoluminiscente (Figura 3.29).

La señal de salida de emergencia sobre la puerta se colocará a una altura de 2,20 m en el hastial (Figura 3.20)

3.5. Ventajas y desventajas de la propuesta respecto al empleo de una carretera.

3.5.1. Ventajas

1. Elimina totalmente el ruido medioambiental.
2. Disminuye la distancia de recorrido.
3. Disminuye las pendientes del recorrido.

4. Permite mantener una velocidad crucero en el recorrido convirtiéndolo en más rápido.
5. Evita el riesgo de contaminación del manto freático.
6. Disminuye sensiblemente el riesgo de accidentes y la mortalidad por causa de los mismos.
7. Presenta asistencia médica, técnica y contra incendios en plazos por debajo de los diez minutos.
8. Aporta a la atmósfera el aire viciado y los humos totalmente desprovistos de partículas de polvo y una notable disminución del nivel de CO y CO₂.
9. Impide el cambio de uso y el desaprovechamiento de los suelos.
10. Resulta más económico el mantenimiento de la instalación.

3.5.2. Desventajas.

1. El tiempo de ejecución es mayor.
2. Requiere de obras inducidas complementarias para convertir el sector del vial donde está enclavado en una vía segura y que mantenga los beneficios del túnel.
3. Incrementa el consumo energético del área donde se ubique dado por el consumo de los equipos y la iluminación.
4. Requiere de grandes reservas de agua para su uso contra incendios.
5. Exige la limpieza sistemática de la galería principal del hollín de los carburantes.
6. Resulta más costoso el kilómetro terminado.
7. Requiere de un grupo de hombres y equipos técnicos con carácter permanente durante la explotación del túnel.

8. Puede incrementarse el tiempo de acceder al túnel por el trasiego de vehículos con sustancias peligrosas.

De ocurrir un accidente, se disminuye sensiblemente la velocidad de circulación, por lo que aumenta el tiempo de cruce del túnel.

3.6. Valoración económica.

Definir el valor de los servicios de construcción de este tipo de obra requiere de un desglose detallado de todas las actividades constructivas que intervienen en el proceso de su ejecución y los presupuestos independientes. En el caso que nos ocupa tomamos los principales índices presupuestarios históricos derivados de la experiencia acumulada durante la construcción de obras subterráneas por parte de las Empresas Constructoras 3 y 4 de la Unión de Construcciones Militares para conformar a partes gruesas un presupuesto estimado del valor de los servicios de construcción. El valor se muestra en la tabla 5.

3.7. Conclusiones preliminares del capítulo.

A partir de las Normas de diseño de túneles de carretera de la **Eurozona** asumidas para el diseño de un túnel de carretera, se realizó el análisis de la factibilidad técnica de diseñar un túnel de carretera para la provincia de Matanzas. En el análisis se tuvieron en cuenta todos los factores y elementos que deben estar presentes en este tipo de obra partiendo de una ubicación topográfica, geológica y territorial concreta. Se tuvo en cuenta además el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) para esta carretera aportados por la Oficina de vialidad y tránsito de la provincia de Matanzas. Con el diseño propuesto se disminuye la longitud y la pendiente de la carretera, aumentando al mismo tiempo la visibilidad, la velocidad de tránsito y la seguridad vial. Además el valor estimado de los servicios de construcción está en correspondencia con los valores promedios para este tipo de obra el cual alcanza un valor de **124335,82 Mp** equivalentes a **23025,15 pesos** por metro lineal de construcción, con lo que le damos cumplimiento al Objetivo Específico No. 5 de esta investigación.

CONCLUSIONES GENERALES.

Como resultado de la presente tesis la cual pretende solamente un acercamiento de la ingeniería civil cubana al diseño de túneles de carretera en las condiciones de nuestro país, arribamos a las siguientes conclusiones:

1. El aprovechamiento de los espacios subterráneos cobra cada día mayor importancia en todas las áreas geográficas del planeta.
2. Se valida la situación problemática relacionada con la contradicción existente entre la necesidad de disponer de Normas de Diseño de túneles de carretera en Cuba y no contar con Normas de Diseño específico de este tipo de obra para la vida civil.
3. Se logró cumplimentar los objetivos y las tareas de investigación propuestos en el protocolo de la investigación al lograr discriminar las diferentes normas de diseño de túneles de carretera empleadas a nivel mundial, seleccionando la que mejor se adapta a nuestras condiciones, proponiéndola para su estudio y generalización.
4. Las normas de diseño de la Eurozona son las que mejor se adaptan a nuestras condiciones de sección transversal típica vinculada a las necesidades de transportación por carretera y a las posibilidades económicas de Cuba.
5. Sobre la base de las normas de diseño de la Eurozona es posible lograr las Normas de Diseño de túneles de carretera específicas para la República de Cuba.
6. A partir de las Normas de diseño de túneles de carretera de la **Eurozona** y tomando los elementos compatibles con nuestras condiciones, se propuso el diseño un túnel de carretera para la provincia de Matanzas.

RECOMENDACIONES.

Teniendo en cuenta que el presente trabajo de diploma y sus resultados constituyen un acercamiento de la ingeniería civil cubana al diseño de túneles de carretera, recomendamos:

1. Compilar la mayor cantidad posible de normas de diseño de túneles de carretera empleadas a nivel mundial.
2. Conformar un grupo multidisciplinario en interés de elaborar, proponer y aprobar las normas cubanas de diseño de túneles de carretera a la Dirección de Vialidad del ministerio de Transporte y a la Dirección Técnica del MICONS.
3. Establecer en el programa de estudio de los ingenieros civiles y especialidades afines, el diseño de túneles de carretera conjuntamente con la especialidad de Diseño Geométrico de Carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abando D., (2015), *Proyecto de ejecución de túnel carretero en la N-611*, [en línea], disponible: <https://repositorio.unican.es> , (Consulta: 20 de septiembre del 2019).
2. BARQUEROS, I. *Elementos que componen un túnel, Madrid*, [en línea], disponible en: <https://ecomovilidad.net/madrid/tuneles-madrid-metodos-clasicos/>, (Consulta: 15 de diciembre de 2019).
3. Batista José L., (2003), “*Los túneles subacuáticos de La Habana*”, *Revista Mapping No 89*, ISSN: 1.131-9.100, pp.52-55.
4. Cáceres Enrique A., (2008), *Medidas de protección contra incendios en túneles carreteros*, [en línea], disponible en: www.tesis.uchile.cl , (Consulta: 07 de octubre del 2019).
5. Comisión Iluminación, (2004), *Norma CIE 88-2004. Guía para alumbrado de túneles de carreteras y paso de interiores*, [en línea], disponible en: <https://dialnet.unirioja.es> . (Consulta: 2 de noviembre del 2019)
6. “El Túnel de la Bahía de La Habana y la Comisión de Fomento Nacional” (1959), *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, Vol. LIX, Núm. 2, pág. 57-72.
7. Fei, Ye, He Chuan, W. Shi-Min, (2012), *Landscape design of mountain highway tunnel portals in China. Tunnelling and Underground Space Technology*, [en línea], disponible en: <https://www.sciencedirect.com> , (Consulta: 09 de enero del 2020).
8. Francia. *Circular ministerial francesa 2000/63 de 25 de agosto de 2000*, (2000), [en línea], disponible en: www.tassociats.com>tunels , (Consulta: 09 de enero del 2020).
9. Fomento de España, (2012), *Metodología de análisis de riesgo en túneles de la R.C.E.*, [en línea], disponible en: <https://www.mitma.gob.es> , (Consulta: 29 de septiembre del 2019).
10. Huertas Pablo F., (2016), *Procesos constructivos para túneles viales desarrollados en Colombia*, [en línea], disponibilidad en: <https://repository.usta.edu.co> , (Consulta: 29 d noviembre del 2019).

11. Instituto Nacional de Seguridad e higiene en el trabajo, (2013), *Revista No. 73 Seguridad y salud en el trabajo*, [en línea], disponibilidad en: <http://www.insht.es>, (Consulta: 06 de agosto del 2019).
12. Lombardi G., (2006), *Evolución en la construcción de obras subterráneas*, [en línea], disponibilidad en: <https://www.lombsardi.ch>, (Consulta: 10 de octubre del 2019).
13. López Juan C., (2015), *Optimización del consumo eléctrico en el alumbrado de túneles en autovías de alta capacidad mediante actuaciones sobre el entorno. Análisis crítico de la normativa vigente*, [en línea], disponible en: <https://dialnet.unirioja.es>. (Consulta: 01 de diciembre del 2019).
14. Ministerio de transporte y comunicaciones, (2016), *Manual de carreteras, túneles, muros y obras complementarias*, [en línea], disponible en: <https://www.mitma.gob.es>, (Consulta: 04 de enero del 2020).
15. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda, (2008), *Norma RD 1890/2008. Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior así como sus instalaciones técnicas complementarias. ITC-EA-01 a ITC-EA-07*, [en línea], disponible en: <https://www.mitma.es>carreteras>. (Consulta: 13 de diciembre del 2019)
16. Parlamento Europeo y del Consejo, (2004), *Directiva 2004/54/ CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril del 2004*, [en línea], disponibilidad en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32004L0054>, (Consulta: 17 de diciembre del 2019).
17. Sagaseta C., (2006), *Análisis y diseño de túneles*, [en línea], disponible en: www.trianglegironi.cat, (Consulta: 21 de febrero del 2020).
18. Secretaría de comunicaciones y transporte, (2016), *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*, [en línea], disponible en: dimsec.com. (Consulta: 15 de septiembre del 2019).
19. Secretaría de estado de infraestructuras, transporte y vivienda, (2004), *Directiva 2004/54/CE*, [en línea], disponible en: www.carreteros.org, (Consulta: 29 de septiembre del 2019).

20. Secretaría de estado de infraestructuras, transporte y vivienda, (2008), *Orden Circular 27/2008 sobre metodología de inspección en túneles*, [en línea], disponible en: normativadecarreteras.com ,(Consulta: 29 de septiembre del 2019).
21. Secretaría de estado de infraestructuras, transporte y vivienda, (2015), *Orden Circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles*, [en línea], disponible en: <https://www.mitma.gob.es> . (Consulta: 29 de septiembre del 2019).
22. Secretaría de estado de infraestructuras, transporte y vivienda, (2006), *Real Decreto 635/2006*, [en línea], disponible en: normativadecarretera.com , (Consulta: 29 de septiembre del 2019).
23. Széchy. Károly, (1967), *The Art of Tunnelling*, [en línea], disponible en: <https://books.google.com> , (Consulta: 10 de diciembre del 2019)

ANEXOS

ANEXO 1. DEFINICIONES.

¿QUÉ ES UN TÚNEL?

A PARTIR DE LOS CRITERIOS MÁS ACTUALES EN EL MUNDO, UN TÚNEL ES UNA OBRA INGENIERA EN FORMA DE DUCTO, CONSTRUIDA A CIELO ABIERTO O EN OBRAS SUBTERRÁNEAS, QUE PERMITE EL DESPLAZAMIENTO POR SU INTERIOR DE:

LÍQUIDOS

PERSONAS

VEHÍCULOS

FERROCARRILES

CONDUCTOS
TECNOLÓGICOS

Y CUALQUIER
OTRA GAMA DE
ELEMENTOS QUE
SEAN NECESARIO

Inicio de la construcción de túneles

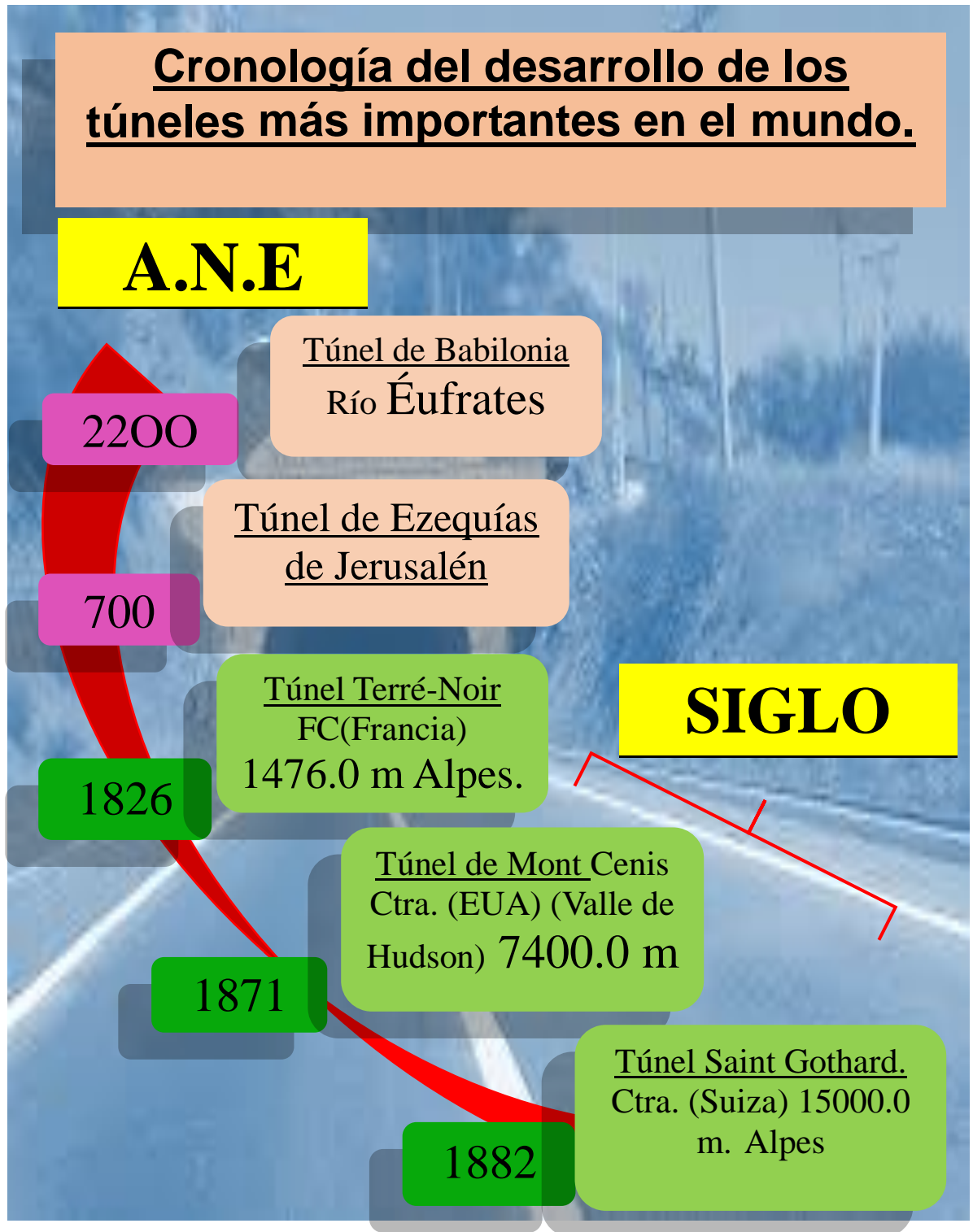
- LA NATURALEZA FUE QUIEN REALIZÓ LAS PRIMERAS CONSTRUCCIONES DE TÚNELES, CONSTRUYENDO CUEVAS Y CURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEOS.

- LOS PRIMEROS TÚNELES REMONTAN A PRINCIPIOS DE LOS RECUBRIMIENTOS METALÚRGICOS, AL FINAL DE LA EDAD DE PIEDRA, DESTINADOS A LA EXPLOTACIÓN DE LOS MINERALES COMO EL SÍLEX O PEDERNAL.

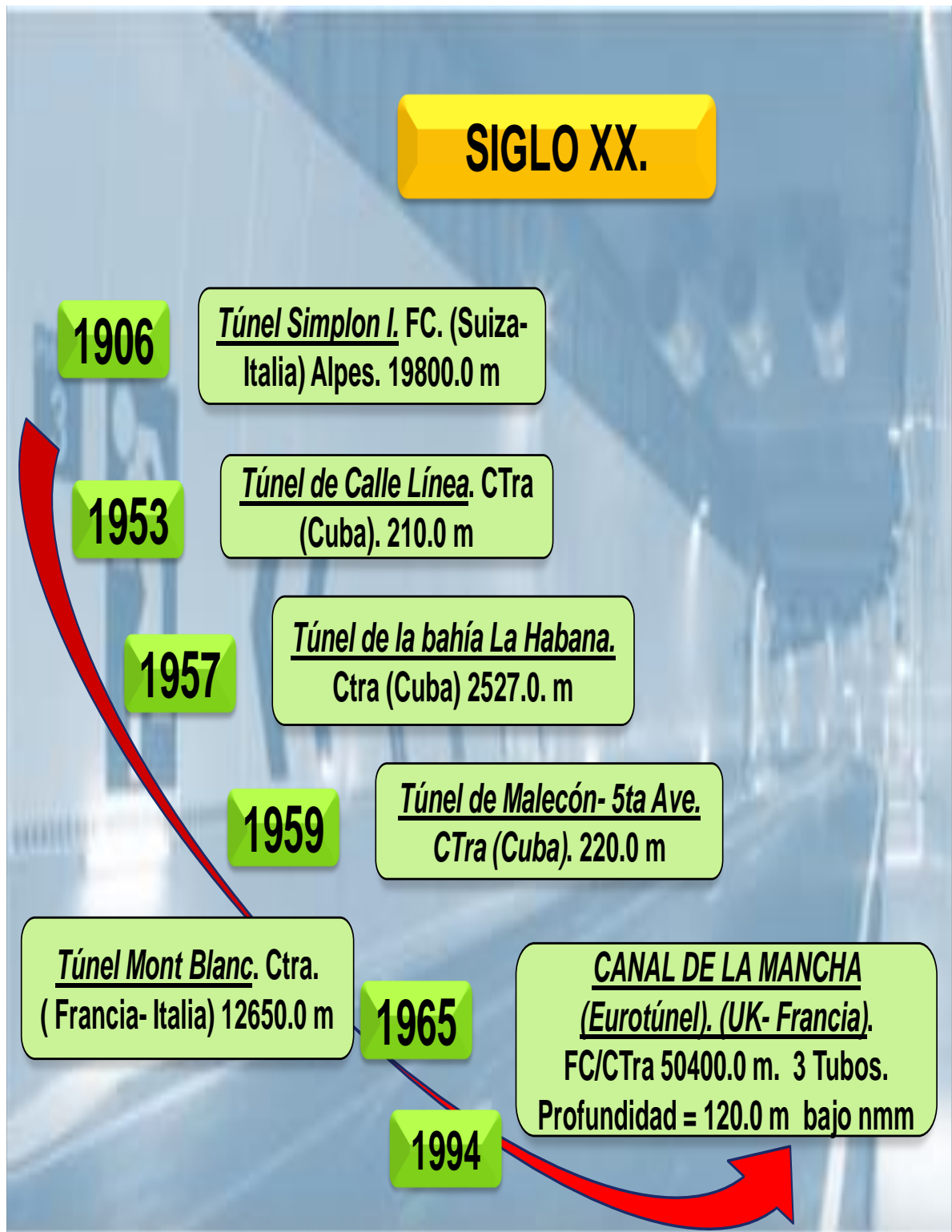
- ESTE PROCESO DEBIÓ INICIARSE HACE UNOS 15.000 AÑOS.



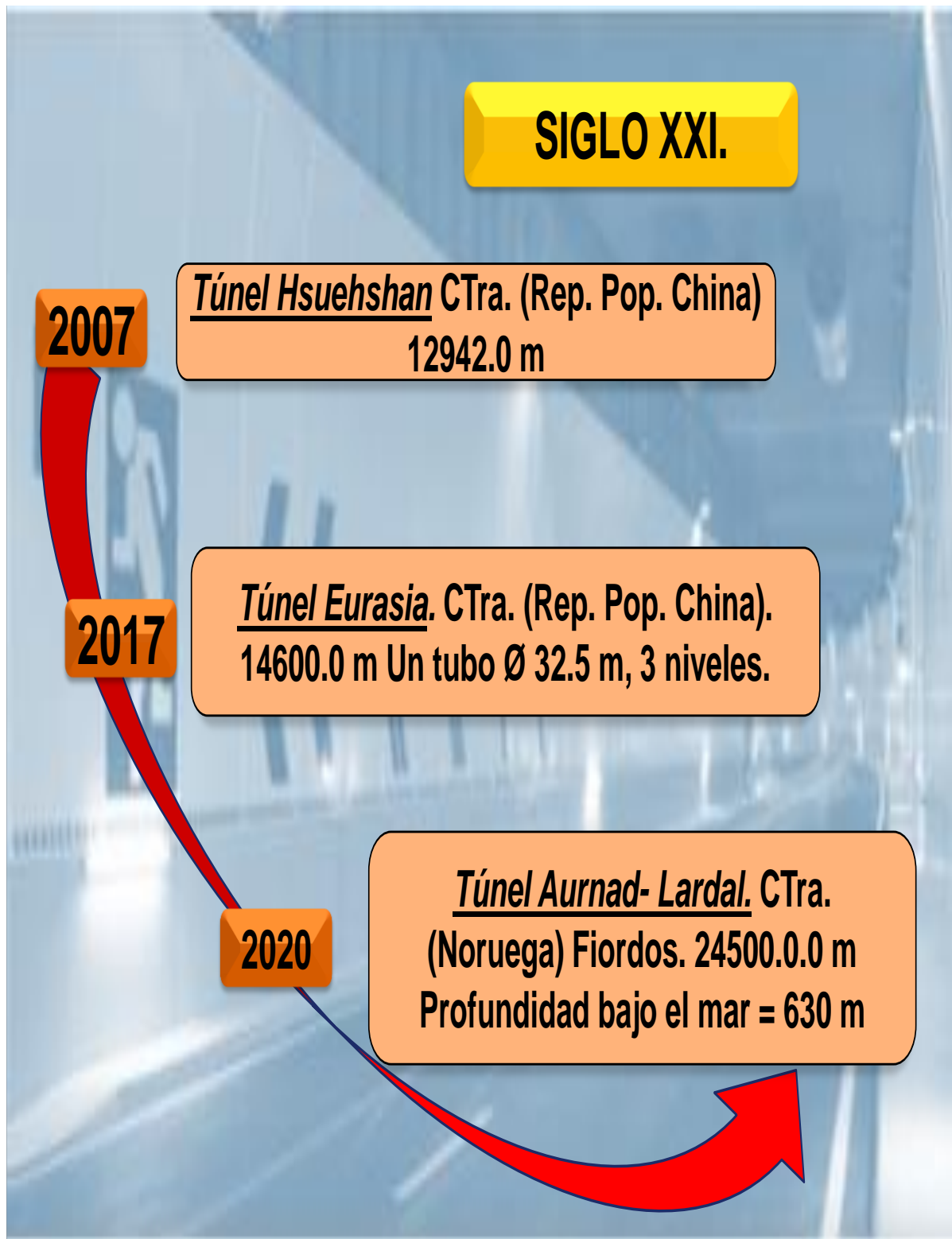
Anexo 3. Desarrollo de la construcción de túneles (ANE-S.XIX)



Anexo 4. Desarrollo de la construcción de túneles (S. XX)



Anexo 5. Desarrollo de la construcción de túneles (S. XXI)



Túneles en Asia

El desarrollo de los túneles de carretera en Asia, posee como común denominador la necesidad para la comunicación terrestre dentro de un región conformada sobre extensas y empinadas en cadenas montañosas, dentro de las cuales están las mayores alturas de la orografía planetaria y climas diversos que van desde los desiertos hasta las zonas heladas.

2007. Túnel de **Hsuehshan** con 12,942 km. **Rep. Pop.**



2017. Túnel de **Eurasia** con 14,6 km.

Túneles en Europa

El desarrollo de los túneles de carretera en el mundo, los situamos a partir de la aparición del automóvil, en Europa se torna una necesidad para la comunicación terrestre dentro de un continente conformado sobre extensas cadenas montañosas, países separados por el océano y regiones internas separadas por profundos fiordos.

1825-1841 Túnel subacuático bajo el Río Támesis, construido por el ingeniero británico Marc Isambard Brunel.

1965 Mont Blanc con 12.650 m de longitud, une Francia con Italia.

1976 San Bernardino con 6.596 m une Francia con Italia.

1980 Túnel de St. Gottard de 16.320 m que une Francia con Italia.

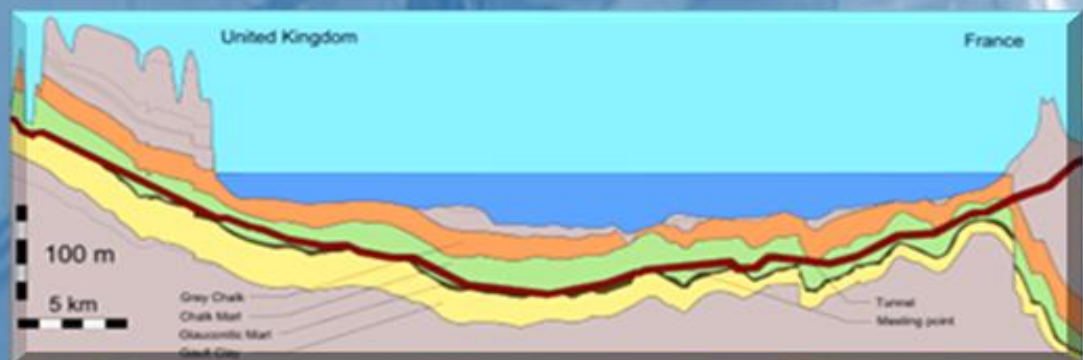


Anexo 8. Desarrollo de los túneles de carreteras en Europa.

Túneles en Europa

1994. Túnel del "Canal de la Mancha" (Eurotúnel)

- ◆ Dos galerías de 50.4 Km. De longitud/túnel para FC
- ◆ Una galería para vehículos, paralela a las anteriores y conectada a ellas con otras transversales asegura la ventilación, el mantenimiento y la evacuación y ayuda en accidentes.
- ◆ Del total, 37 Km discurren a 120.0 m de profundidad bajo el nmm.
- ◆ Une el Reino Unido con Francia.



Túneles en América

El desarrollo de los túneles de carretera en América, posee como común denominador la necesidad para la comunicación terrestre dentro de un región conformada sobre extensas y empinadas cadenas montañosas, ciudades populosas, una extensión continental de polo a polo del planeta y significativas alturas sobre nmm de los países de la región, así como la mayor densidad de países insulares del mundo.

1879-1905 Túnel del Río Hudson con 7.4 km, EEUU conectando Boston con el Valle de Hudson.



1927 Túnel de Holland en New York en EEUU de 2.600 m de longitud.

Anexo 10. Desarrollo de los túneles de carreteras en América.

Túneles en América

1949 Túnel Angostura con 347 m de longitud, Chile.



1972 Túnel Chacabuco con 2.045 m de longitud, Chile.

1980 Túnel Cristo Redentor con 3.080 m (con 1.564m en el lado chileno). Une a Chile con Argentina.

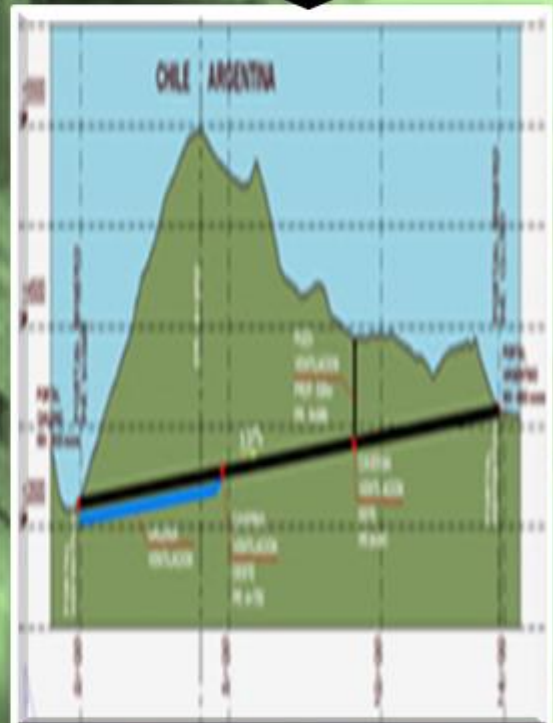


Anexo 11. Desarrollo de los túneles de carreteras en América.

Túneles en América



2010 Túnel
Internacional
Chile-Argentina
de Aguas Negras
bajo los Andes
con 13,9 km de
longitud.



Anexo 12. Desarrollo de la construcción de túneles (Cuba)



Túneles en Cuba

1957 Túnel de la Bahía de La Habana con una longitud total de 2527 m. Une La Habana del Este con La Habana Vieja.



Anexo 14. Desarrollo de los túneles de carreteras en Cuba.

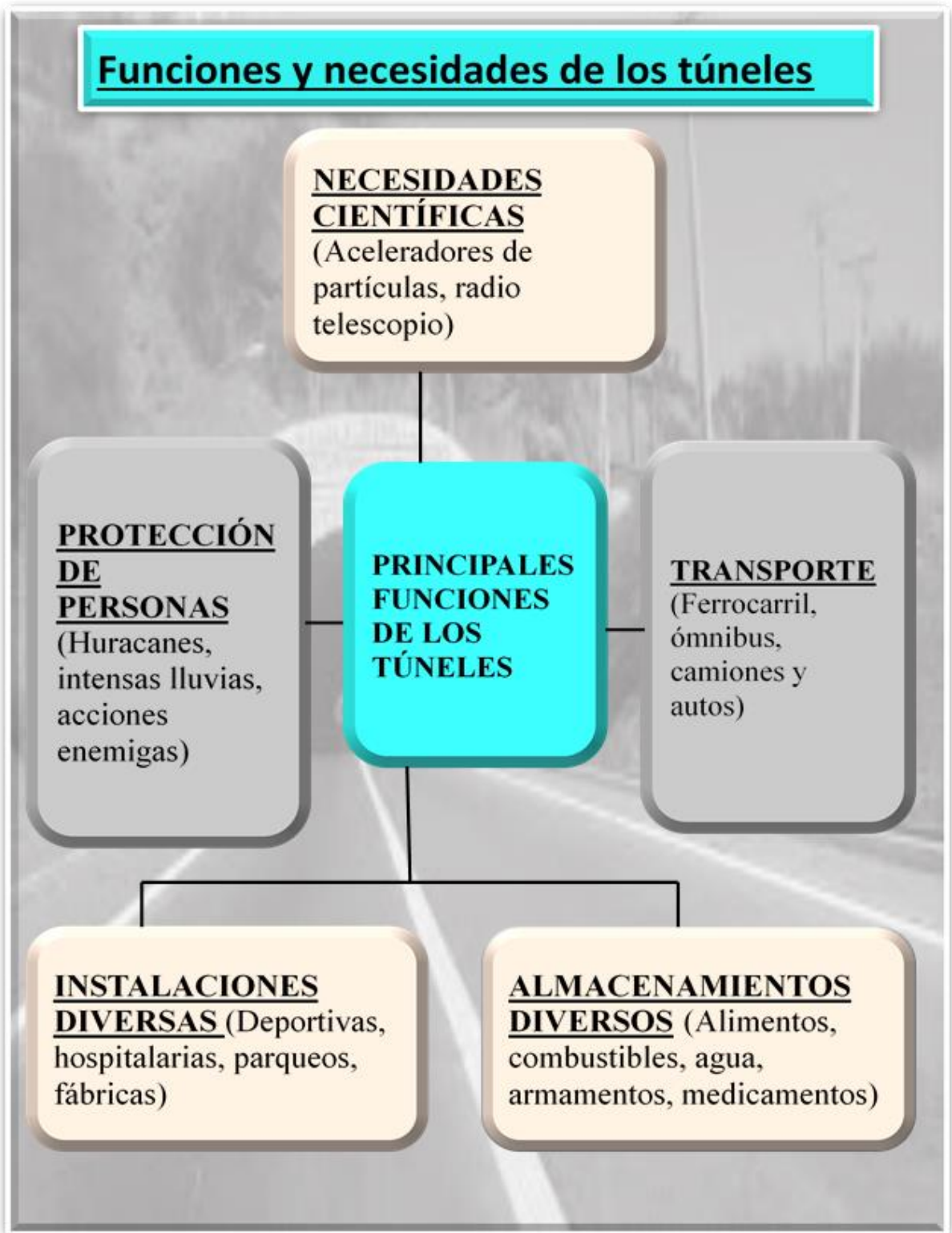
Túneles en Cuba

1953 Túnel de la **Calle Línea** con 210.0 m. Une **El Vedado** con **Marianao**.



1959 Túnel de **Malecón y Quinta Avenida** con 220.0 m. Une el **Vedado** con **Miramar (Playa)**.

Anexo 15. Funciones y necesidades de los túneles.



Anexo 17. Documentación técnica para el diseño.

Documentación Técnica para el diseño de túneles.

Para la valoración de las Normas de Diseño necesarias para proyectar los túneles de carretera en Cuba, fueron evaluadas las existentes en las diferentes regiones geográficas en el mundo y dentro estas, en **LOS PAÍSES MÁS AVANZADOS EN ESTA MATERIA:**

EUROPA
(Eurozona)

- Reino Unido
- Alemania
- España
- Francia
- República Checa
- Italia

ASIA

- Rusia
- República Popular China

JAPÓN

- Diversas Islas

AMÉRICA

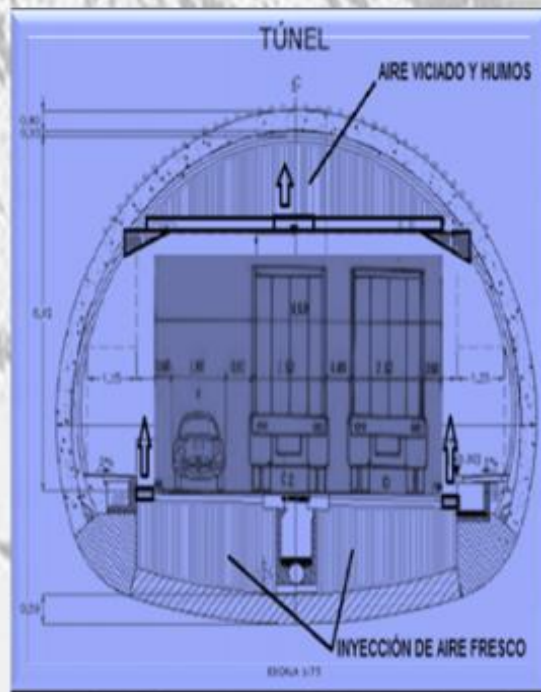
- Estados Unidos
- México
- Venezuela
- Cuba
- Colombia
- Chile

Anexo 18. Propuesta de Normas de Diseño.

A partir de las características de las secciones transversales de los túneles analizadas y evaluando los criterios de diseño empleados en el mundo actual

SE PROPONE
COMO
ELEMENTOS
NORMATIVOS

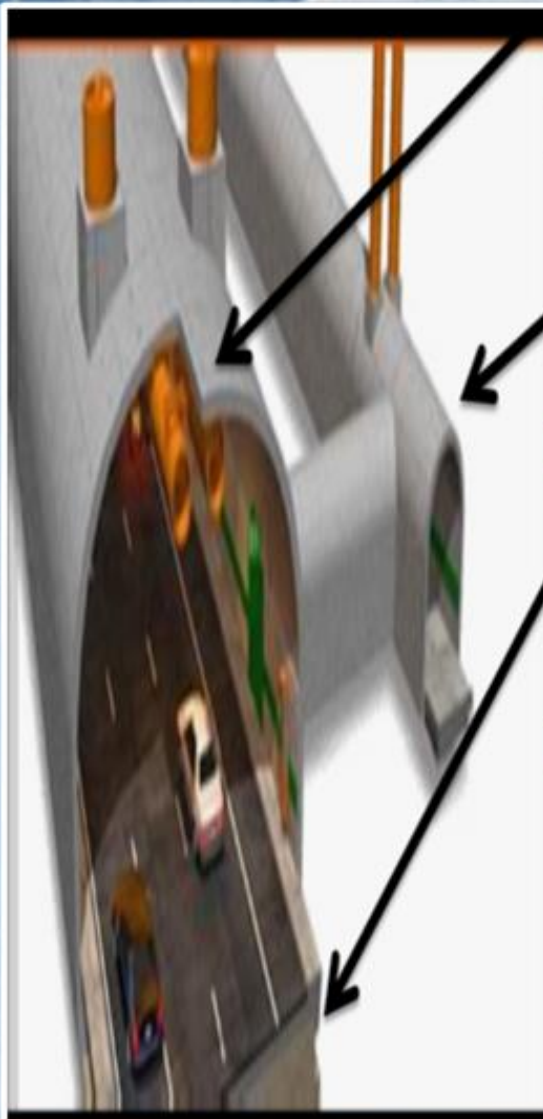
NORMAS DE
DISEÑO DE
LA
EUROZONA



Anexo 19. Conclusiones preliminares. Requerimientos para Cuba.

Conclusiones preliminares. Requerimientos para Cuba.

Sección Transversal



TÚNEL PRINCIPAL con doble sentido de circulación con dos carriles y bahías con capacidad de retorno a la circulación.

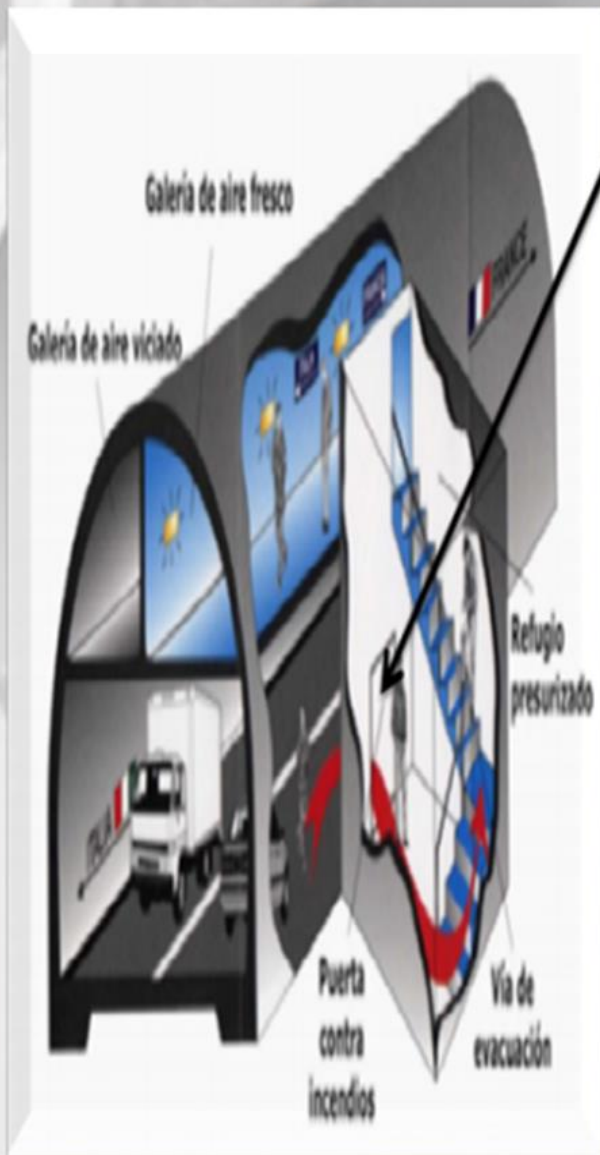
TÚNEL AUXILIAR para emergencias, paralelo al **PRINCIPAL** y conectado a este por galerías transversales.

CALZADA SOBRE MÉSULA con conductos inferiores para inyección de aire fresco y otros para evacuación de aguas y líquidos.

Cubierta plana sobre ménsula para evacuación transversal de aire viciado y humos.
IMD=800 veh/hrs a VELOC. MÁX.=80 km/hrs.

Conclusiones preliminares. Requerimientos

ELEMENTOS AUXILIARES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL



SALIDAS DE EMERGENCIA del Túnel Principal hacia REFUGIOS PRESURIZADOS CON PUERTAS CORTAFUEGOS ubicados en galerías transversales con salida a GALERÍA DE EMERGENCIA.

TERCER CARRIL CON APARTADEROS de la vía principal (Bahías) con teléfonos y medios contra incendios móviles. SAI (Sistema de alta interrupción) con señaléticas lumínicas, GE de emergencias y doble circuito de alimentación eléctrica.

Conclusiones preliminares. Requerimientos para Cuba



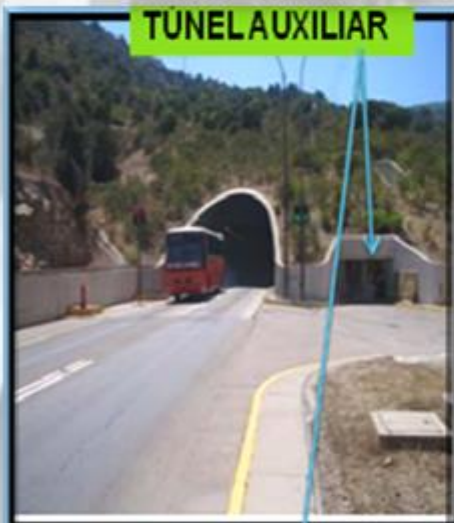
DESARROLLO LONGITUDINAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.

- ◆ TRAMOS RECTOS inferiores a 500.0 m de longitud.
- ◆ CURVAS HORIZONTALES con radios de 2000 m y 150 m de desarrollo.
- ◆ CURVAS VERTICALES con radios inferiores a 7400.0 m y 100.0 m de desarrollo.
- ◆ PENDIENTES MÁXIMAS de 2° en ascenso y 4° en descenso en el eje longitudinal con tramos horizontales (descanso) de hasta 100.0 m de longitud cada 250.0 m de recorrido. (Normativa PIART/2010)

- ◆ APARTADEROS (BAHÍAS) @ 250.0 m de forma alterna en ambas vías.
- ◆ CAVERNAS con paisajismo artificial (plantas artificiales movidas por viento inyectado) e iluminación propia de interiores.
- ◆ ACERAS PEATONALES a ambos lados de los carriles con barandas de protección y a 1.0 m de altura mínima respecto a la calzada.
- ◆ PROYECTAR EL DESARROLLO DE LAS GALERÍAS en las cotas por debajo de 500-700 m sobre el nmm (Categoría: Túnel de Base)

Anexo 22. Conclusiones preliminares. Requerimientos para Cuba.

Conclusiones preliminares. Requerimientos para Cuba.



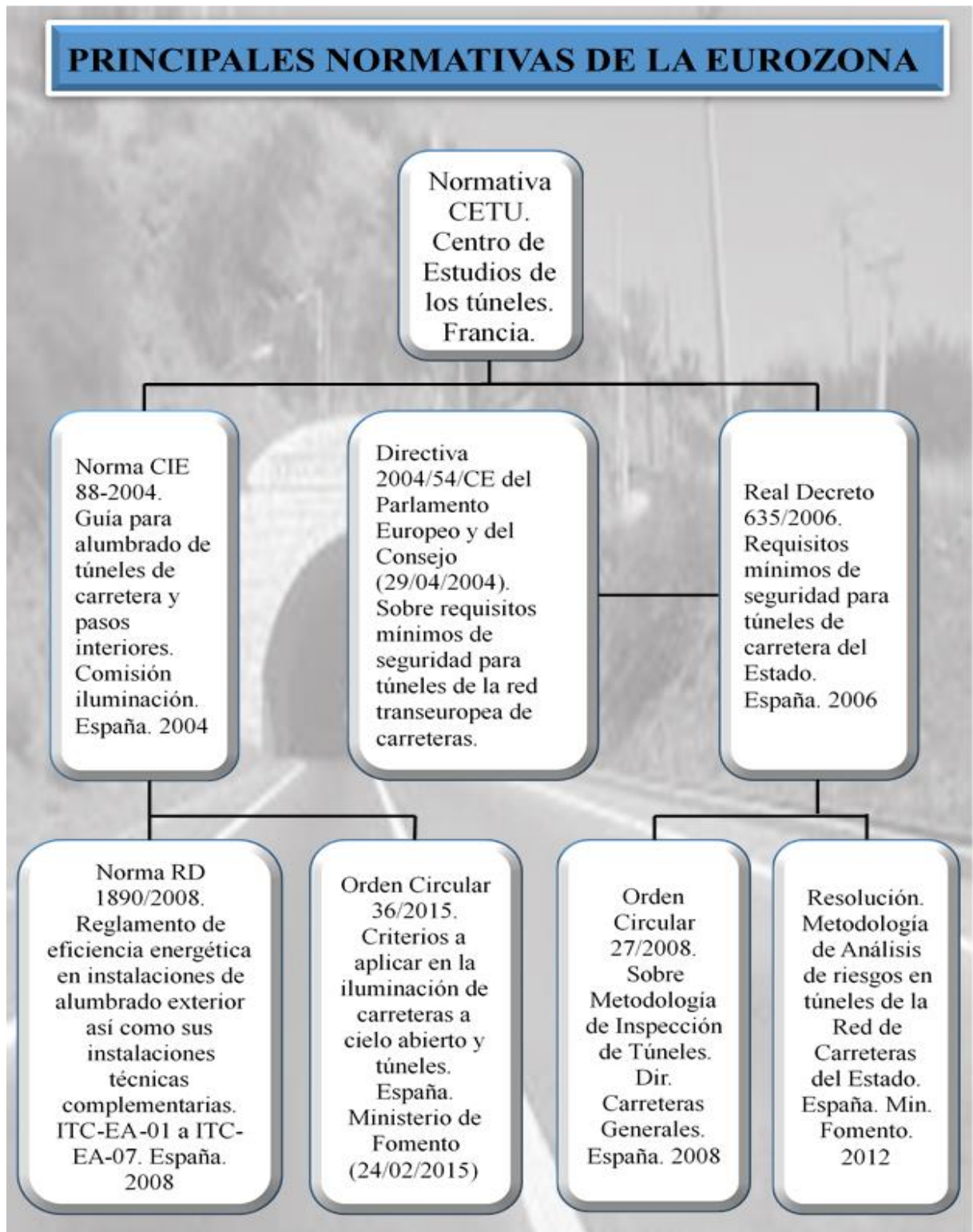
DESARROLLO LONGITUDINAL DE LA SECCIÓN DEL TÚNEL AUXILIAR.

- ◆ Tramos rectos, curvas horizontales y verticales, pendientes y aceras siguiendo los principios de la galería Principal.
- ◆ APARTADEROS (BAHÍAS) @250.0 m hacia las vías de acceso a las galerías de interconexión (salida de refugios) o de libre paso entre galerías.
- ◆ ACERAS PEATONALES a ambos lados de los carriles con barandas de protección.
- ◆ SECCIÓN TRANSVERSAL que permita las maniobras de los carros de bomberos y ómnibus de mediano porte para la evacuación así como las ambulancias.

◆ SOPORTAR SOBRE SUS PAREDES Y CUBIERTA. Las redes contraincendios, así como el cable coaxial de fibra óptica para TV, macrofonía-telefonía, opacímetros, detectores de humos y temperaturas.

◆ Proyectar el DESARROLLO DE LAS GALERÍAS en las cotas por debajo de 500-700 m sobre el nmm (Categoría: Túnel Base)

Anexo 23. Principales Normativas de la Eurozona.

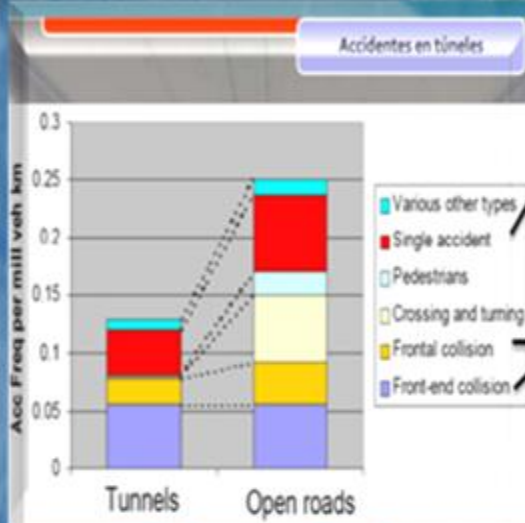


Anexo 24. Requisitos mínimos específicos impuestos por la Normativa.
Componentes obligatorios.



Anexo 25. Análisis de riesgos de accidentes. Requisitos mínimos de diseño.

ANÁLISIS DE RIESGOS DE ACCIDENTES. REQUISITOS MÍNIMOS DE DISEÑO.



1. La Frecuencia de accidentes por miles de vehículos Kms. producidos en túneles, **ES MENOR** que en cualquier tipo de carreteras.

2. La frecuencia de accidentes en **TÚNELES** respecto a **CARRETERAS** por

- Colisión frontal-trasera son **SEMEJANTES**
- Colisión frontal son **MENORES**.

3. El gradiente de muertes por accidentes en túneles, **DECRECE** en el Siglo XXI.

4. Evitar la combinación de **FRECUENCIAS** vs. **CONSECUENCIAS ABARCADAS** en situaciones que provoquen daños señalados en **'ROJO'** (No deseado) y **'AMARILLO'** (Inaceptable)

Los accidentes - Sensibilización

Año	Nombre	País	Longitud (m)	Muertes
1978	Velsen	Países Bajos	770	55
1979	Nihonzaka	Japón	2.000	9
1982	Caldecott	USA	1.000	7
1983	Peconie	Italia	600	8
1989	Brenner	Austria	432	2
1995	Pfänder	Austria	6.800	3
1996	Isola delle Femmine	Italia	148	5
1999	Mont-Blanc	Francia-Italia	11.600	39
1999	Tauern	Austria	6.000	12
2001	Gleinalm	Austria	8.800	5
2002	San Gotardo	Suiza	12.600	11
2005	Frejus	Francia-Italia	12.900	2

Frequency	Consequence				
	Disastrous	Severe	Serious	Considerable	Insignificant
Very Likely (5)	Unacceptable	Unacceptable	Unacceptable	Unwanted	Unwanted
Likely (4)	Unacceptable	Unacceptable	Unwanted	Unwanted	Acceptable
Occasional (3)	Unacceptable	Unwanted	Unwanted	Acceptable	Acceptable
Unlikely (2)	Unwanted	Unwanted	Acceptable	Acceptable	Negligible
Very unlikely (1)	Unwanted	Acceptable	Acceptable	Negligible	Negligible

Anexo 26. Análisis de riesgos de accidentes. Requisitos mínimos de diseño.

ANÁLISIS DE RIESGOS DE ACCIDENTES. REQUISITOS MÍNIMOS DE DISEÑO.

CAUSAS PRINCIPALES

CANSANCIO OCULAR DEL CONDUCTOR. El color constante de las paredes del túnel y la constante intensidad de las luces.

SOMNOLENCIA EN EL CONDUCTOR.

PROVOCADO POR





INCENDIOS POR COLISIÓN U OTRAS CAUSAS.

PROVOCADO POR

COLISIONES. VUELCOS. DESPERFECTOS TÉCNICOS



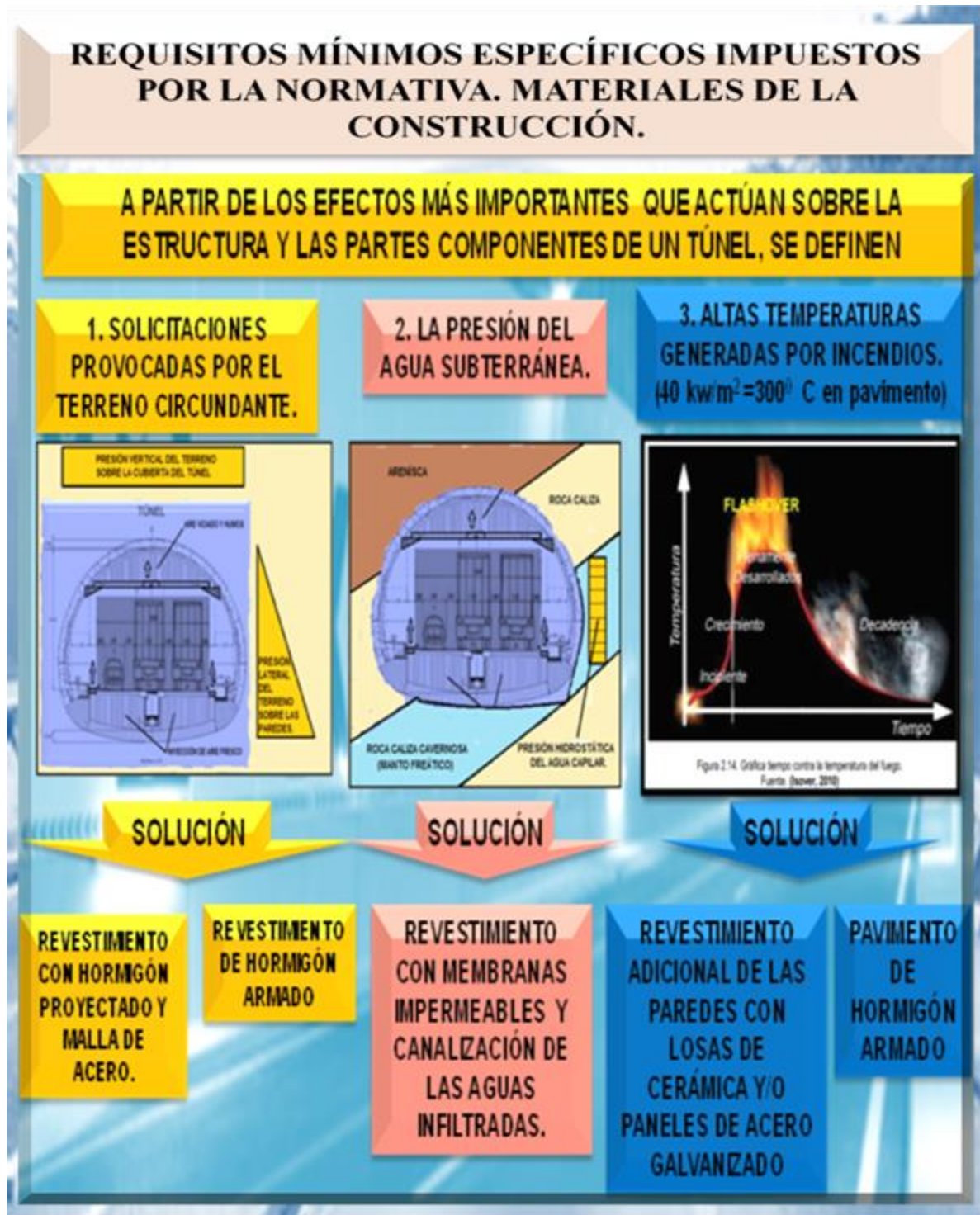


Distribución 33: Distribución sistema mixto



SOLUCIONES

Anexo 27. Requisitos mínimos específicos impuestos por la Normativa. Materiales de la construcción.



PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS

PARA LA VENTILACIÓN DURANTE LA EXPLOTACIÓN Y EN EMERGENCIA.

Durante la explotación

Se propone la combinación de Longitudinal y Transversal a partir del empleo de:

Horizontal – Ventiladores Axiales colocados en la zona de la clave del arco en la bóveda, espaciado en todo el desarrollo del túnel.

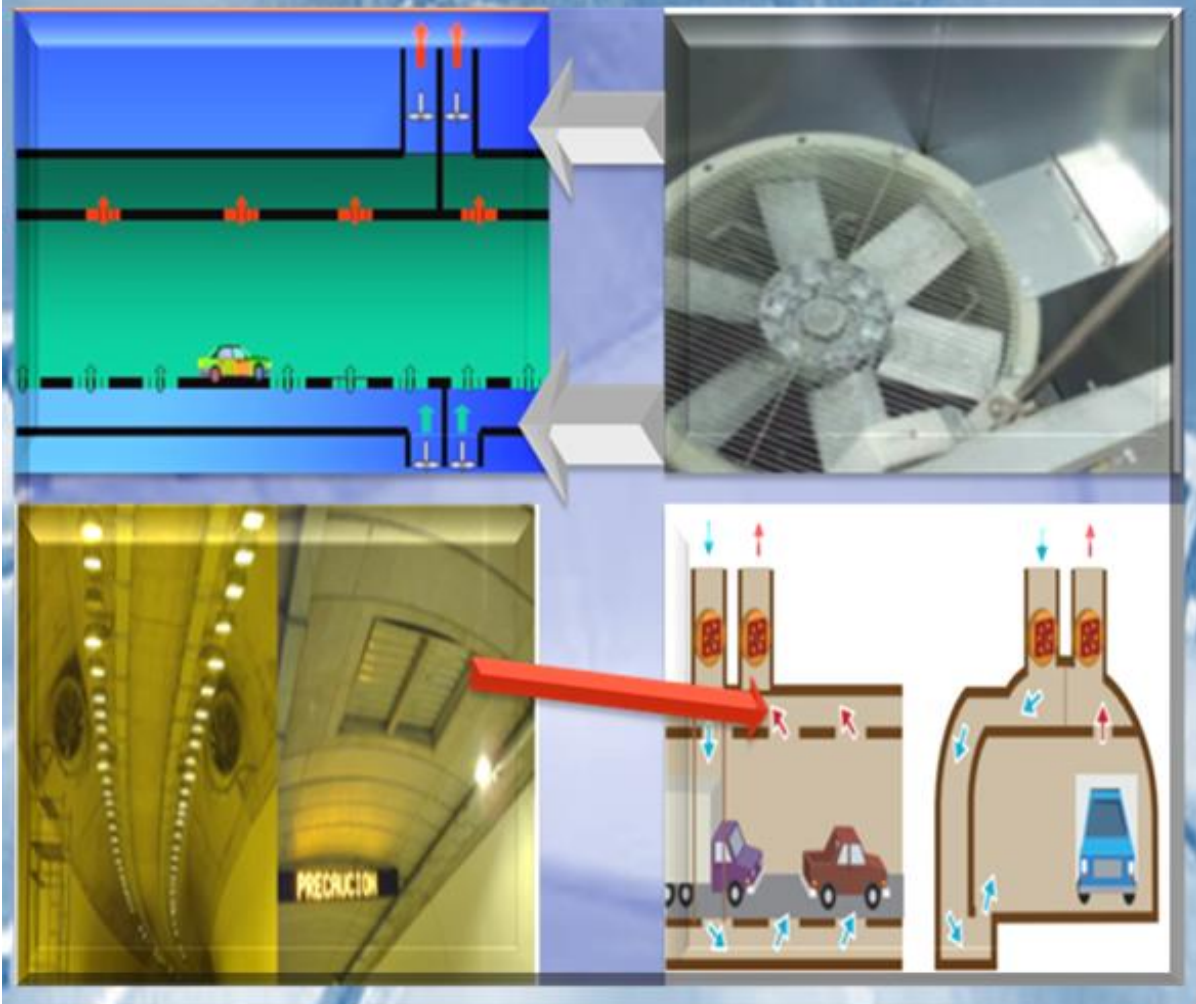


The diagram illustrates the proposed ventilation system. On the left, a cross-section of a tunnel shows two axial fans (represented by red and blue rectangles) mounted on the top of the tunnel's arch. Blue arrows indicate the direction of airflow from the fans towards the center of the tunnel. Below this, two small vehicles (a purple car and a red truck) are shown on the tunnel floor. In the middle, a larger cross-section shows a blue truck positioned in the center of the tunnel, with the two fans mounted on the arch above it. On the right, a photograph shows a real-world tunnel under construction or maintenance, with a bright light source illuminating the curved interior of the tunnel and a worker visible in the distance.

PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS

Durante la explotación.

Transversal – Ventiladores Axiales inyectando aire fresco y extrayendo aire viciado y humos mediante pozos verticales o galerías.



PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS.

Durante emergencias

Se propone la combinación de *Horizontal y Transversal* a partir del empleo de **estos mismos tipos de ventiladores en cantidades adicionales** empleados solo en emergencias para aumentar el caudal de humos a mover.



Anexo 31. Principios de diseño de los sistemas. Iluminación durante explotación y emergencias.



Anexo 32. Principios de diseño de los sistemas. Para el enfrentamiento de accidentes (emergencia)

PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS.

PARA EL ENFRENTAMIENTO DE ACCIDENTES (EMERGENCIA)

Se propone el empleo combinado de sistemas del túnel.

1. Refugios contra incendios y humos presurizados y conectados al túnel de escape.



2. Túnel de escape paralelo al túnel principal.



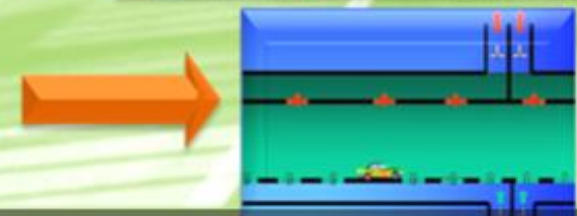
3. Sistema de puertas cortafuegos en el túnel principal y en los refugios.



4. Sistema automático centralizado e hidrantes contra incendios en el Túnel principal.



5. Sistema auxiliar de extracción de humos del Túnel principal.



**Anexo 33. Principios de diseño de los elementos estructurales del túnel.
SECCIÓN Transversal Galería Principal.**

PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL TÚNEL

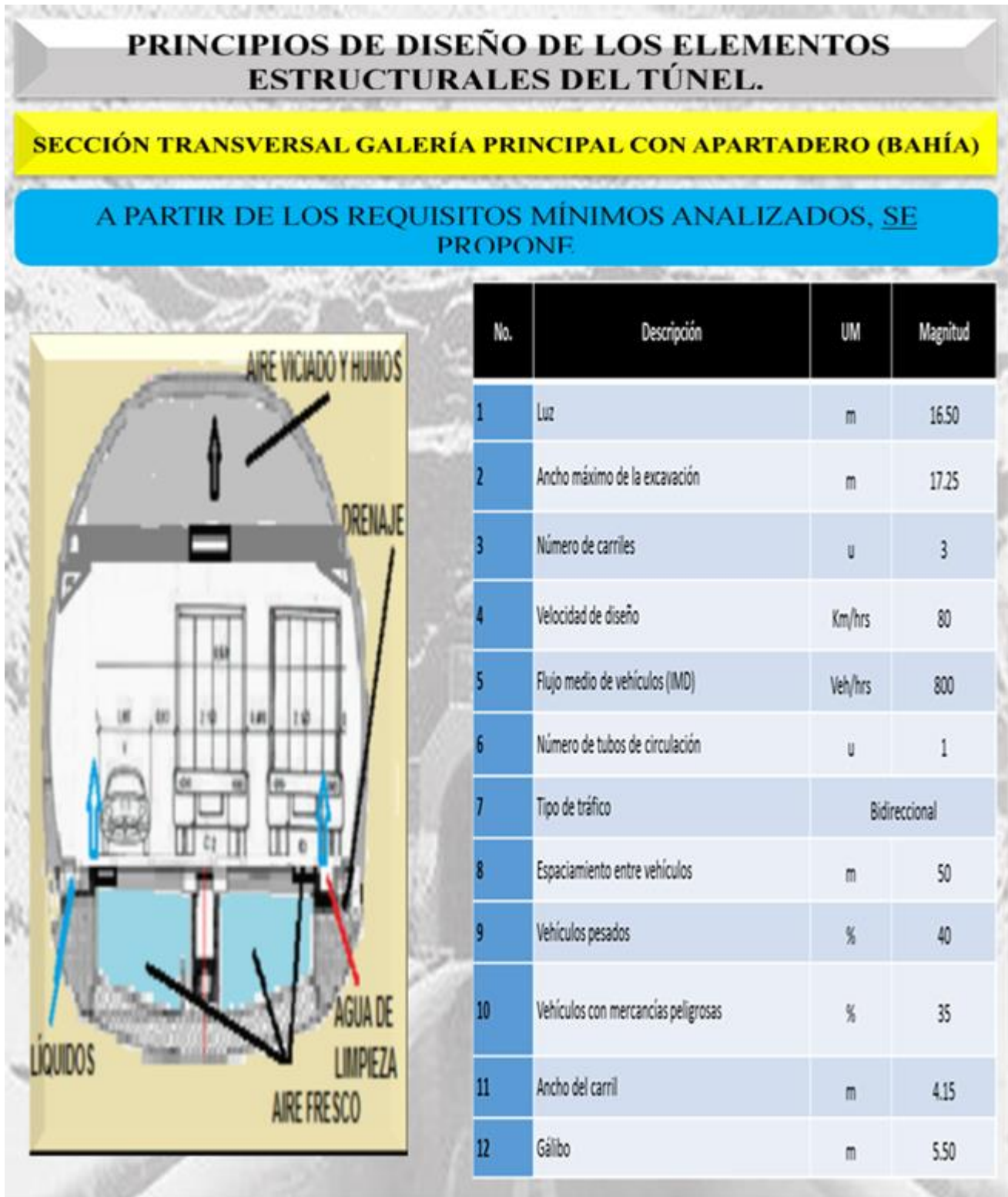
SECCIÓN TRANSVERSAL GALERÍA PRINCIPAL

A PARTIR DEL LOS REQUISITOS MÍNIMOS ANALIZADOS, SE PROPONE

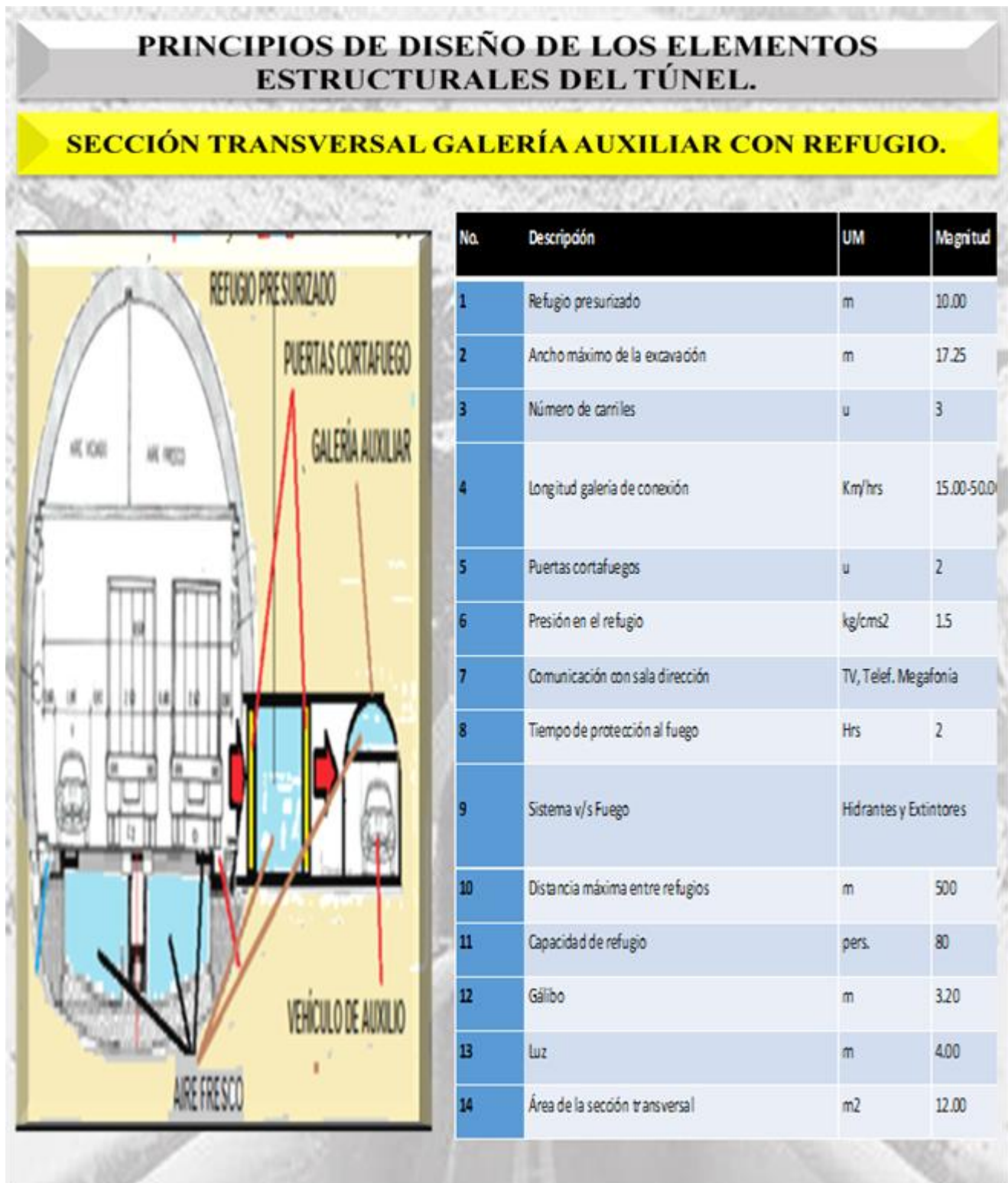
EN LA PRIMERA ETAPA SE CONSTRUIRÁ EL TÚNEL DE LA CALZADA DIRECCIÓN

No.	Descripción	UM	Magnitud
1	Luz	m	11.90
2	Ancho máximo de la excavación	m	12.70
3	Número de carriles	u	2
4	Velocidad de diseño	Km hrs	80
5	Flujo medio de vehículos (IMD)	Veh/hrs	800
6	Número de tubos de circulación	u	1
7	Tipo de tráfico	Bidireccional	
8	Espaciamento entre vehículos	m	80
9	Vehículos pesados	%	40
10	Vehículos con mercancías peligrosas	%	35
11	Ancho del carril	m	4.15
12	Gálibo	m	5.50

**Anexo 34. Principios de diseño de los elementos estructurales del túnel.
Sección Transversal Galería Principal con Apartadero (Bahía).**



**Anexo 35. Principios de diseño de los elementos estructurales del túnel.
Sección Transversal Galería Auxiliar con Refugio.**



Anexo 36. Resumen de requisitos mínimos técnicos impuestos por la Normativa.

RESUMEN DE REQUISITOS MÍNIMOS TÉCNICOS IMPUESTOS POR LA NORMATIVA

A PARTIR DE LOS ELEMENTOS ANTERIORMENTE EXPUESTOS COMO REQUISITOS MÍNIMOS, SE PROPONE ASUMIR LA NORMATIVA RESUMEN DE LA EUROZONA (SUMMARY OF MINIMUM REQUIREMENTS) DONDE SE FIJAN LOS ELEMENTOS COMPONENTES DEL TÚNEL.

OBLIGATORIO PARA TODOS LOS TÚNELES
(Mandatory for all tunnels)

OBLIGATORIO CON EXCEPCIONES
(Mandatory with exceptions)

• mandatory for all tunnels
 • mandatory with exceptions
 ○ not mandatory
 ◐ recommended

SUMMARY OF MINIMUM REQUIREMENTS

Structural Measure	Traffic ≤ 2 000 vehicles per lane	Traffic > 2 000 vehicles per lane	Additional conditions for implementation to be mandatory, if relevant			Additional conditions for implementation to be mandatory, if relevant
			0-1 000 m	1 000-1 500 m	> 1 500 m	
2 tubes or more (C.1)	•	•	•	•	•	Mandatory when a 15-year forecast shows that traffic > 10 000 vehicles/year.
Gradients ≤ 1 % (C.2)	•	•	•	•	•	Mandatory unless not geographically possible.
Emergency walkways (C.3.1, C.3.2)	•	•	•	•	•	Mandatory where there is no emergency line unless the condition in (C.3.1) is satisfied. In existing tunnels where there is neither an emergency line, nor an emergency roadway system / reinforced concrete still to be taken.
Emergency exits at least every 500 m (C.3.3, C.3.4)	◐	◐	•	•	•	Implementation of emergency exits in existing tunnels to be evaluated case-by-case.
Clear-conditions for emergency services at least every 1 500 m (C.4)	◐	◐/•	◐	◐/•	•	Mandatory in two-tube tunnels longer than 1 500 m.
Creating of the central reserve outside each portal (C.4.2)	•	•	•	•	•	Mandatory outside the portals: new tunnels wherever geographically possible.
Lay-bys at least every 1 000 m (C.5)	◐	◐	◐	◐/•	◐/•	Mandatory for new bi-directional tunnels > 1 500 m without emergency lanes. In existing bi-directional tunnels > 1 500 m: depending on analysis. For both new and existing tunnels, depending on geographically feasible.
Drainage for firewater and toxic liquids (C.6)	•	•	•	•	•	Mandatory where transport of dangerous goods is allowed.
Free circulation of structure (C.7)	•	•	•	•	•	Mandatory where a local collapse can have catastrophic consequences.

NO OBLIGATORIO
(Not mandatory)

RECOMENDADO
(Recommended)

Anexo 37. Requisitos mínimos específicos impuestos por la Normativa. Análisis de costos.

RESUMEN DE REQUISITOS MÍNIMOS TÉCNICOS IMPUESTOS POR LA NORMATIVA. ANÁLISIS DE COSTO.

Tabla 1: Porcentaje respecto al costo total de ejecución del túnel (año 2006).

Sección	Excavación	Sostenimiento	Revestimiento	Instalaciones	Suma
* Roca poco fracturada * Sostenimiento con algunos anclajes y malla de protección					
* Revestimiento de 30 cm.	52,1	4,3	30,4	13,2	100
* Roca fracturada dura * Sostenimiento con bolones, hormigón proyectado y mallas electrosoldado					
* Revestimiento con 30 cm.	47,7	13	26	13,2	100
* Roca fracturada mediodura * Sostenimiento con bolones, cerchas tipo TH, hormigón proyectado y mallas electrosoldado					
* Revestimiento de 40 cm	39,1	17,4	30,4	13,2	100
* Terreno de mala calidad * Sostenimiento con cerchas pesadas, placas metálicas, hormigón					
* Revestimiento de 40 cm	30,4	41,2	15,2	13,2	100

PROPONEMOS DE ESTA NORMATIVA LA IMPOSICIÓN DE UN COSTO PORCENTUAL POR CADA KM DE TÚNEL TERMINADO

ACTIVIDADES EJECUTIVAS SEGÚN EL SUELO, EL ENTIBAMIENTO Y EL REVESTIMIENTO NECESARIO (TABLA No. 1)

↕

INSTALACIONES DE SISTEMAS, A PARTIR DEL COSTO TOTAL (TABLA No. 2)

DE LA EXPERIENCIA DE CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES EN CUBA EN EL SIGLO XX

TÚNEL DE "LÍNEA" = 2'569 200 USD / KM.

TÚNEL DE "5ta-MALECÓN" = 2'752 000 USD /KM

TÚNEL DE "LA BAHÍA" = 4'092 700 USD / KM

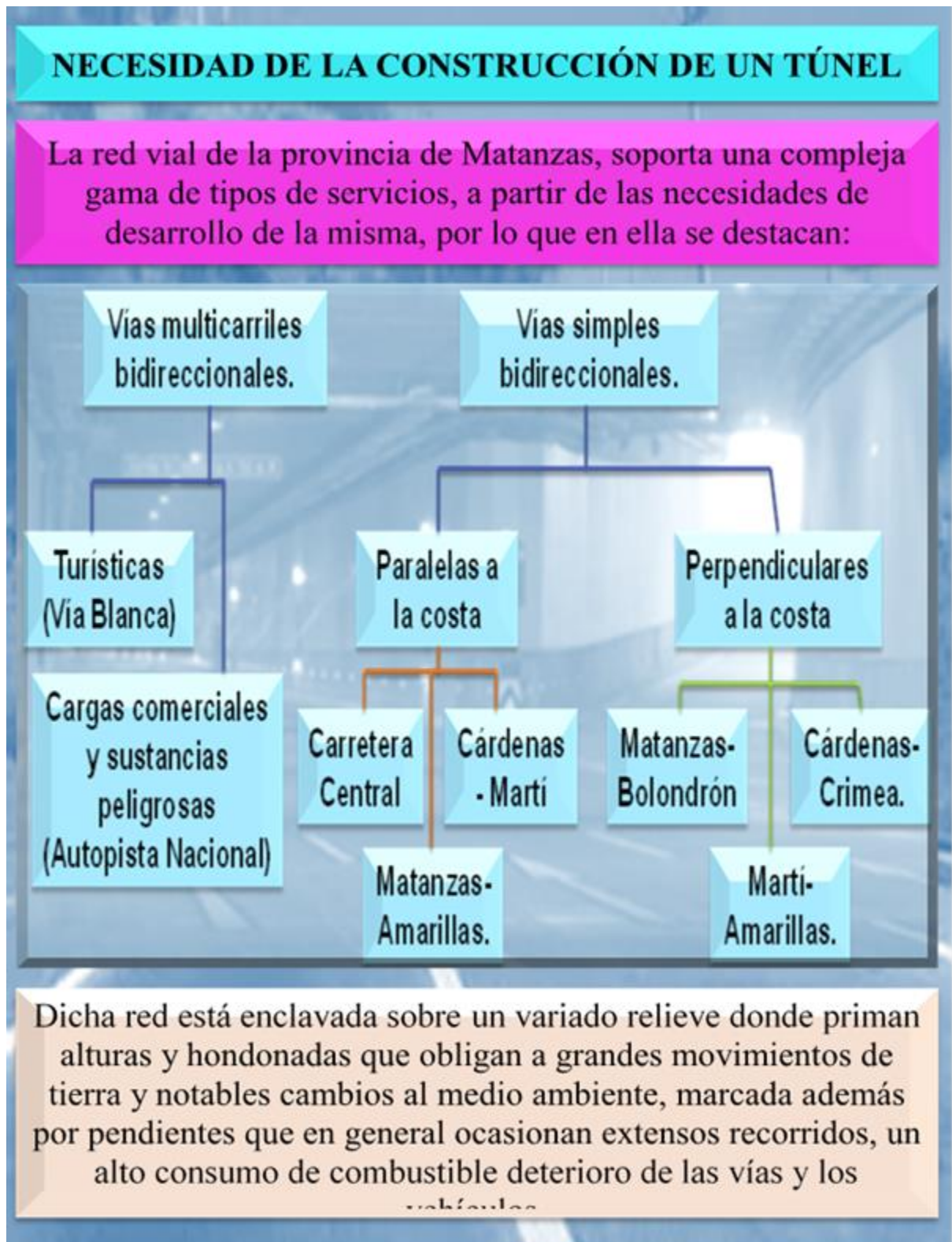
Tabla 2: Costos porcentuales respecto al costo total de las instalaciones por kilómetros de túnel (2007)

Sistema	Costo por km (%)
Ventilación	10,8
CCTV	8,8
S.O.S	1,5
Detección de incendios	3,2
Señalización	13,5
Detector de incidentes	3,5
Estaciones Remotas y Comunicaciones	2,6
Iluminación	6,3
Centro de transformación	5
Grupo electrigeno	2,2
Equipo de Megafonía	0,6
Extinción de incendios	1,6
Cableado de Ventilación	12,9
Cableado de Iluminación	21,9
Software de aplicación	5,2
Suma	100

Anexo 38. Control de tráfico, señalización y balizamiento



Anexo 39. Necesidad de la construcción de un túnel.



NECESIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL.

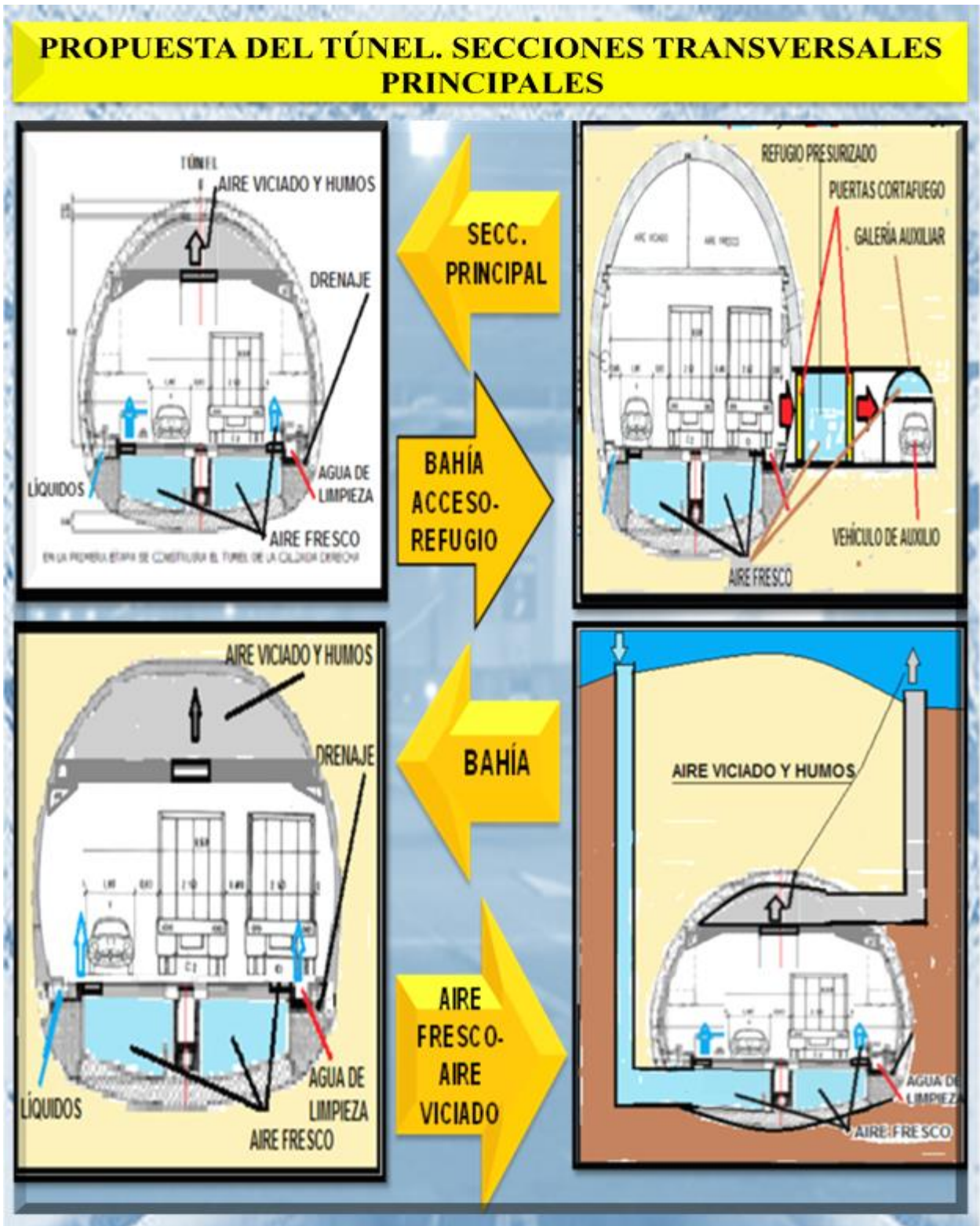
En esta provincia, existen servicios vitales que coinciden sobre un mismo elemento vial como lo es **EL TRANSPORTE TURÍSTICO** hacia y desde Varadero y **EL TRANSPORTE DE PETRÓLEO** hacia la refinería de petróleo "Ñico López" en La Habana, ambos sobre la Vía Blanca.

Nuestra propuesta va encaminada a desviar **EL TRANSPORTE DE PETRÓLEO** hacia la Autopista Nacional marcando una vía cuyo recorrido sería: Cárdenas-Cantel-Limonar-Caobas-Bolondrón-Hato de Jicarita (km 104 de la AN), refinería "Ñico López".

En el trayecto debe cruzarse de Norte a Sur la Cordillera Habana-Matanzas con un vial existente de sinuoso recorrido y pendientes pronunciadas a la altura de Sequeiras (cota + 165.00) y hasta Bolondrón (cota +212.00)

A este trazado, le proponemos mejorar las condiciones de transitabilidad, seguridad y rapidez en el desplazamiento del combustible y otras cargas, así como el movimiento de pasajeros, con la construcción de un túnel de carreteras construido en condiciones de Obra Subterránea.

Anexo 41. Propuesta de túnel. Secciones Transversales Principales.

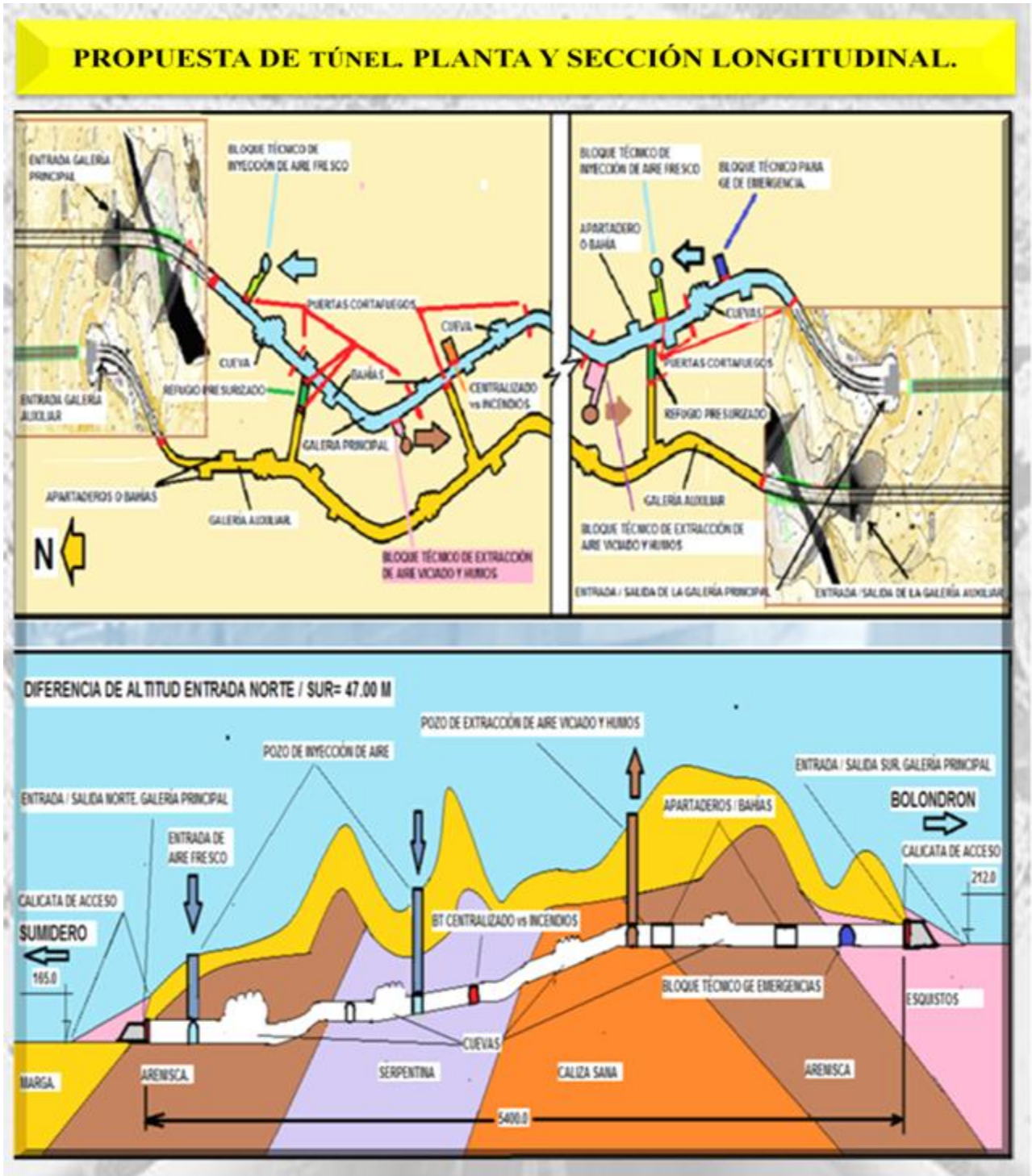


Anexo 42. Descripción del trazado del túnel propuesto.

DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO DEL TÚNEL PROPUESTO

DESCRIPCIÓN.	DATOS	VOLUMEN (m ³)	
		EXCAVACIÓN	HORMIGÓN
Altura topog. De entradas (m snmm)	N=165.0 / S=212.0		
Número de túneles de circulación	1		
Número de túneles auxiliares	1		
Número de túneles de intercepción	11		
Número de carriles	2		
Longitud total	5400.0 m		
Pendiente máxima del túnel	4%		
Diferencia de nivel entre portales	47.00 m		
Ancho del túnel	16.05 m		
Ancho del carril	4.15 m		
Gálibo del túnel	5.50 m		
Máxima altura del túnel	9.15 m		
Área Secc. Transv. Principal	80.56 m ²	418 912.00	
Área Secc. Transv. Auxil. / Intercep	12.00 m ²	163 860.00	
Revto. Sección Principal	Horm./Arm.-Gunitaje (0.40-0.60 m)		159 900.00
Revto. Sección Auxil. / Intercep.	Horm./Arm.-Gunitaje (0.40-0.60 m)		65 060.00
Perímetro Secc. Principal	61.50 m		
Perímetro Secc. Auxil. / Intercep	23.50 m		
TOTAL		582 772.00	224 960.00

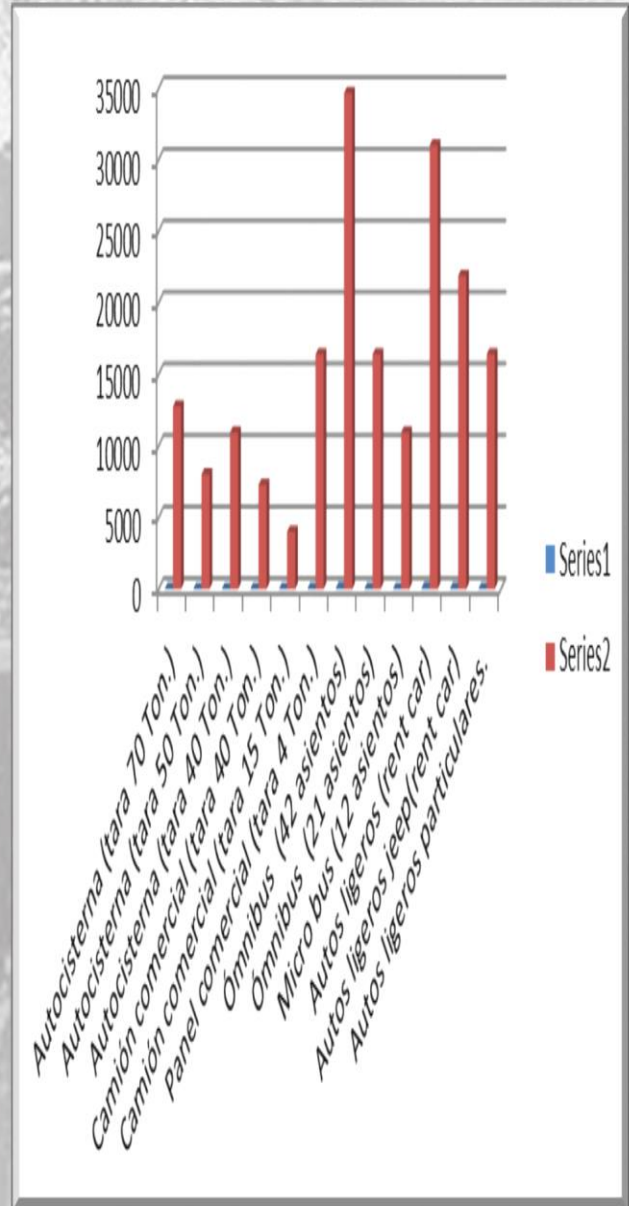
Anexo 43. Propuesta de Planta y Secciones del túnel.



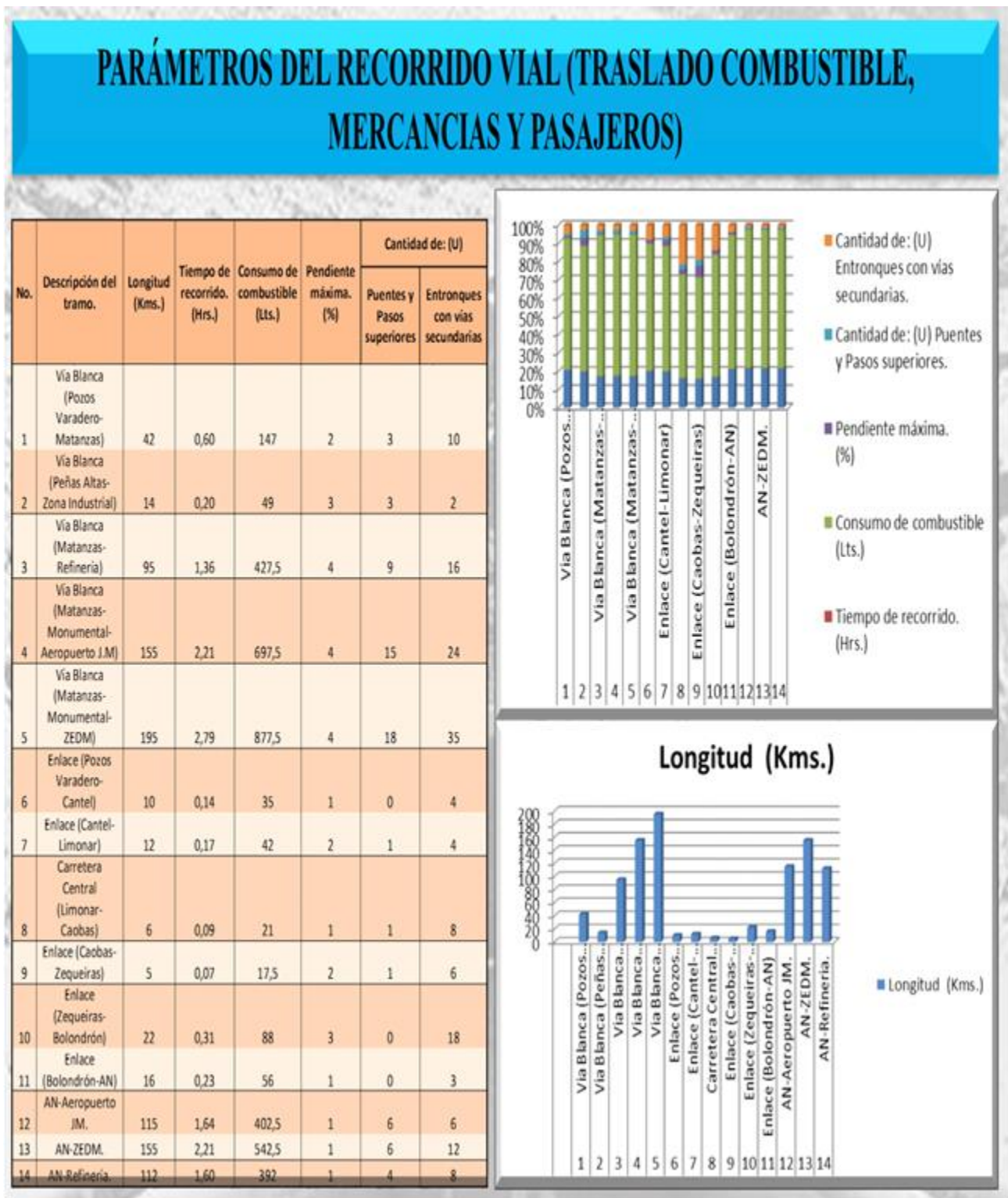
Anexo 44. Complejidad de la vialidad en el recorrido propuesto.

VÍA BANCA. INTENSIDAD DE VEHÍCULOS/DÍAS/POR AÑOS.

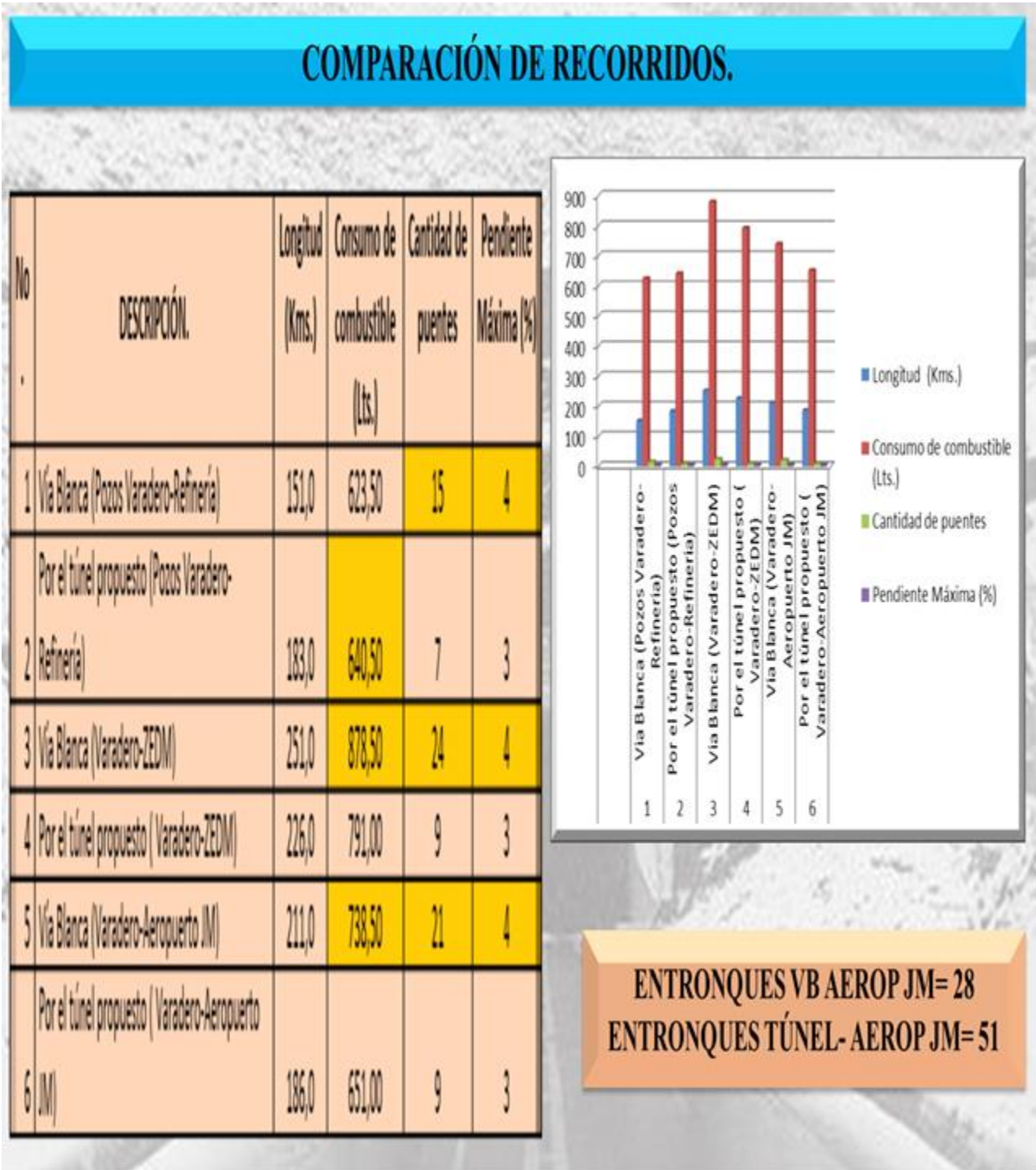
No.	Descripción.	Cantidad/	
		DÍAS	AÑO
1	Autocisterna (tara 70 Ton.)	35	12775
2	Autocisterna (tara 50 Ton.)	22	8030
3	Autocisterna (tara 40 Ton.)	30	10950
4	Camión comercial (tara 40 Ton.)	20	7300
5	Camión comercial (tara 15 Ton.)	11	4015
6	Panel comercial (tara 4 Ton.)	45	16425
7	Ómnibus (42 asientos)	95	34675
8	Ómnibus (21 asientos)	45	16425
9	Micro bus (12 asientos)	30	10950
10	Autos ligeros (rent car)	85	31025
11	Autos ligeros jeep (rent car)	60	21900
12	Autos ligeros particulares.	45	16425
SUB TOTAL.		523	
TOTAL.			190895



Anexo 45. Parámetros del recorrido vial (traslado combustible, mercancías y pasajeros)



Anexo 46. Comparación de recorridos.



ÍNDICE DE FIGURAS

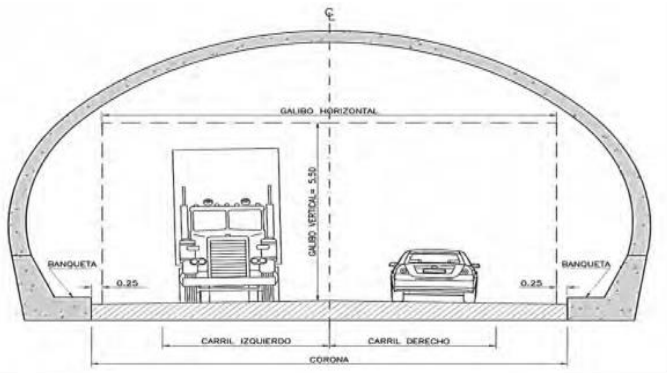


Figura 2.2. Gálidos vertical y horizontal

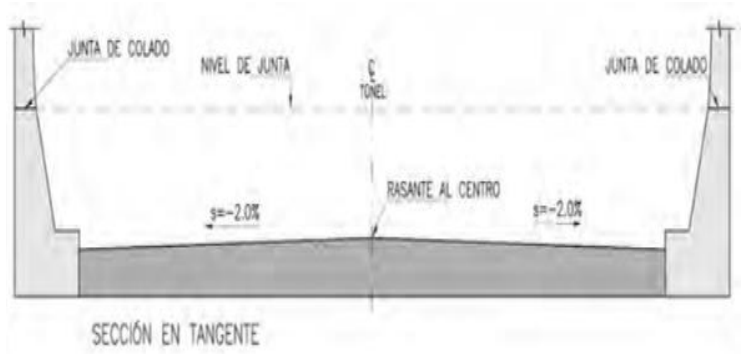


Figura 2.3. Evolución de la calzada en tangente



Figura 2.4. Evolución de la calzada en curva con pendiente

5 %

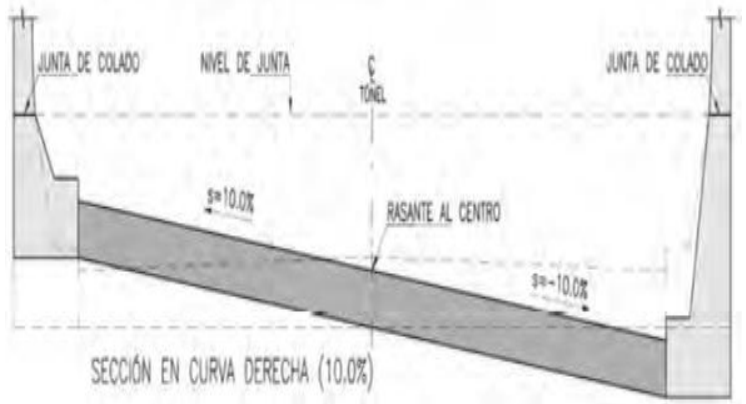


Figura 2.5. Evolución de la calzada en curva con pendiente

10 %

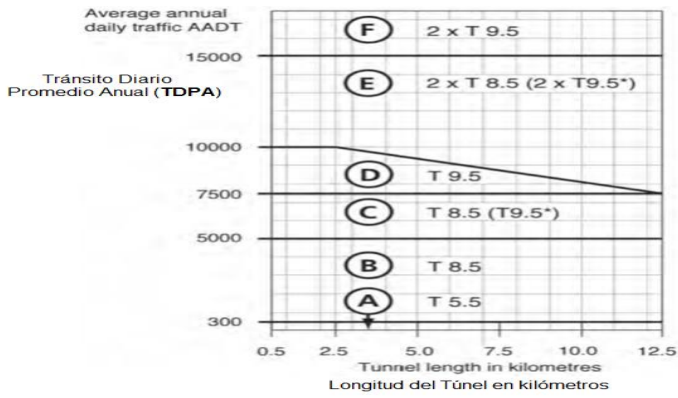


Figura 2.6. Categorías de Túneles de acuerdo con la Administración Noruega de Carreteras.

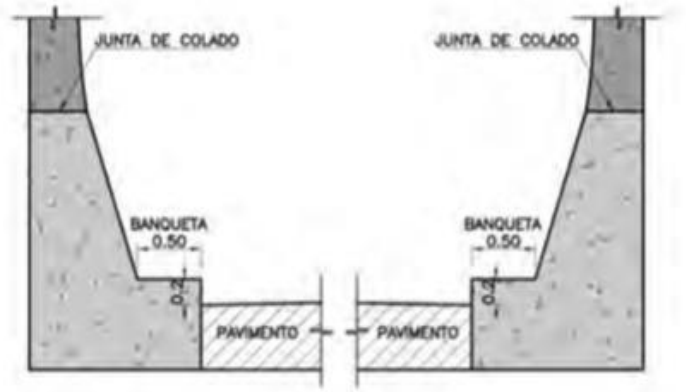


Figura 2.7. Sección tipo de acera (banqueta) en túneles con longitud < 500m (tangente)

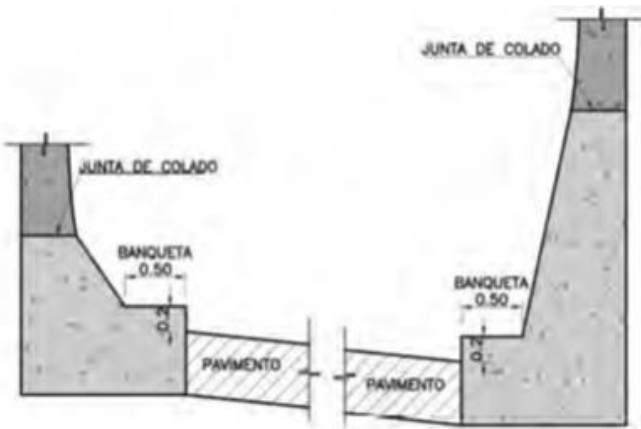
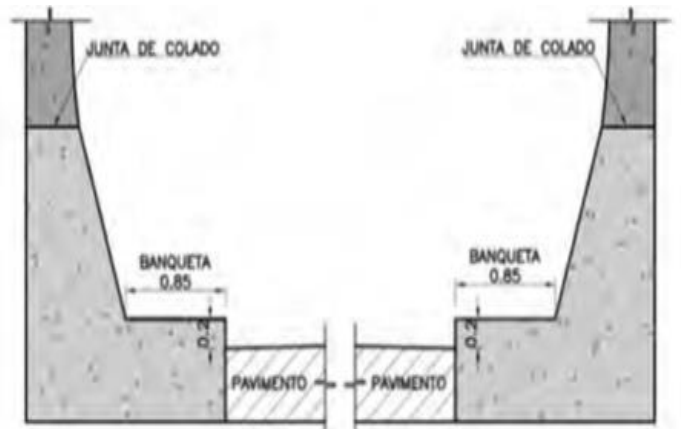
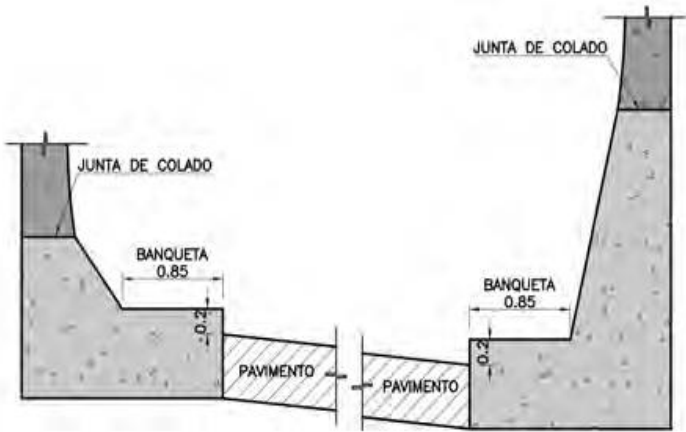


Figura 2.8. Sección tipo de acera (banqueta) en túneles con longitud < 500m (curva máxima)



Figuras 2.9. Sección tipo de acera (banqueta) en túneles con longitud > 500m (tangente).



Figuras 2.10. Sección tipo de acera (banqueta) en túneles con longitud > 500m (curva máxima).

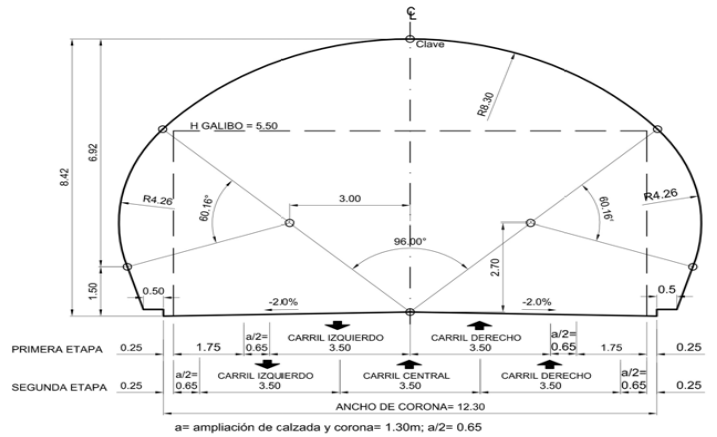


Figura 2.11. Sección tipo en tangente para túnel de sentido bidireccional en carreteras Tipo A2 con longitud menor a 500 m. Línea de contorno.

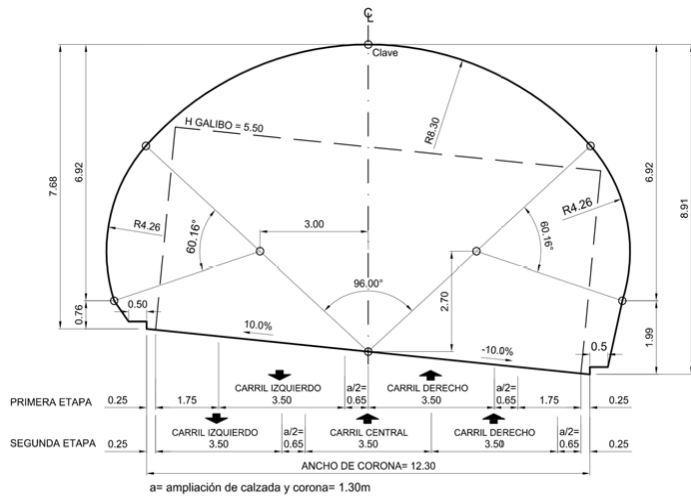


Figura 2.12. Sección tipo en curva máxima para túneles de sentido bidireccional en carreteras Tipo A2 con longitud menor a 500 m. Línea de contorno.

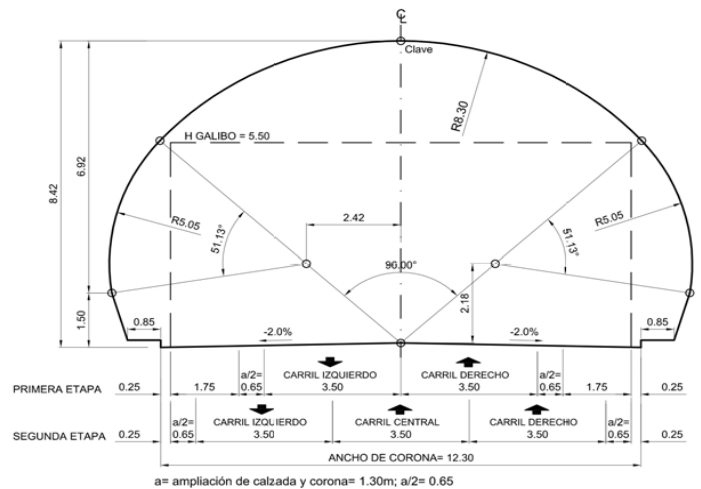


Figura 2.13. Sección tipo en tangente para túneles carreteras de sentido bidireccional Tipo A2 con longitud mayor a 500m. Línea de contorno.

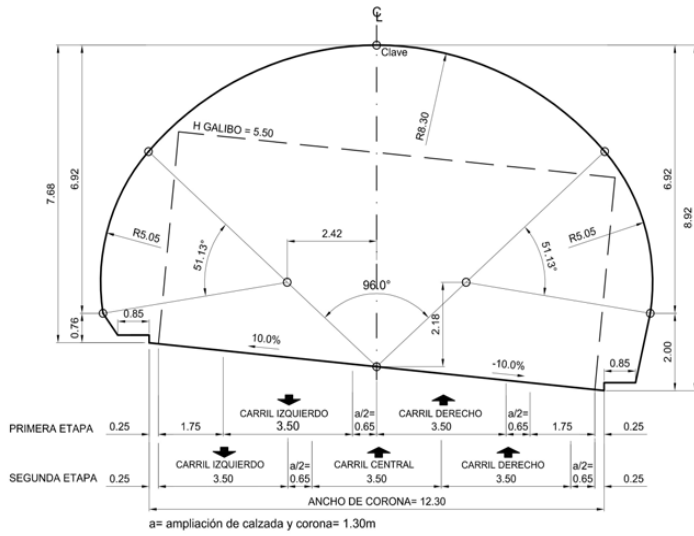


Figura 2.14. Sección tipo en curva máxima para túneles carreteras Tipo A2 con longitud mayor a 500 m. Línea de contorno.

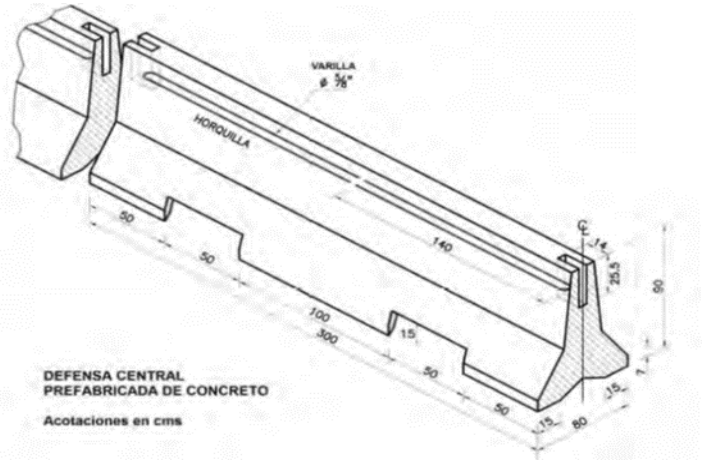


Figura 2.15. Barra central de concreto (hormigón).

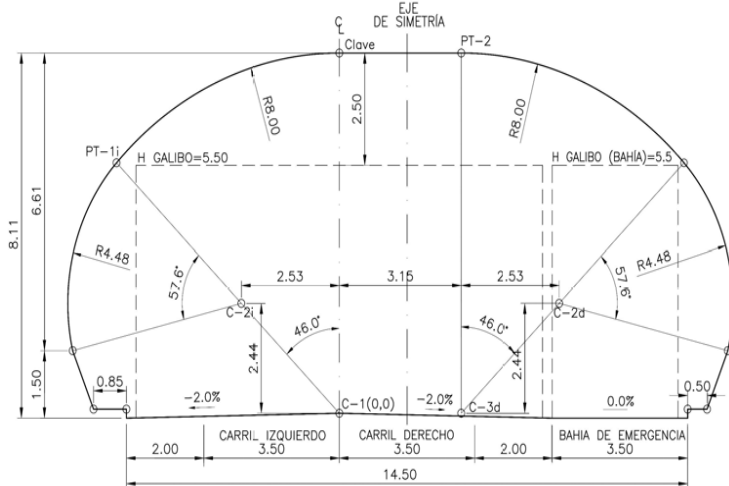


Figura 2.16. Sección tipo de bahía de emergencia derecha a línea de contorno.

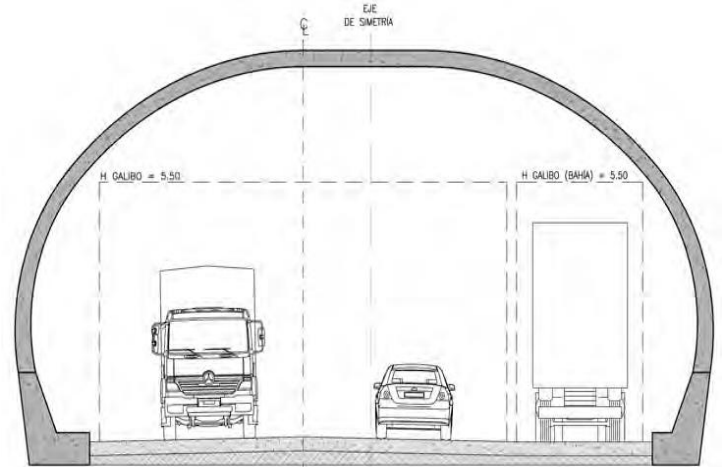


Figura 2.17. Sección tipo de túnel con bahía de emergencia.

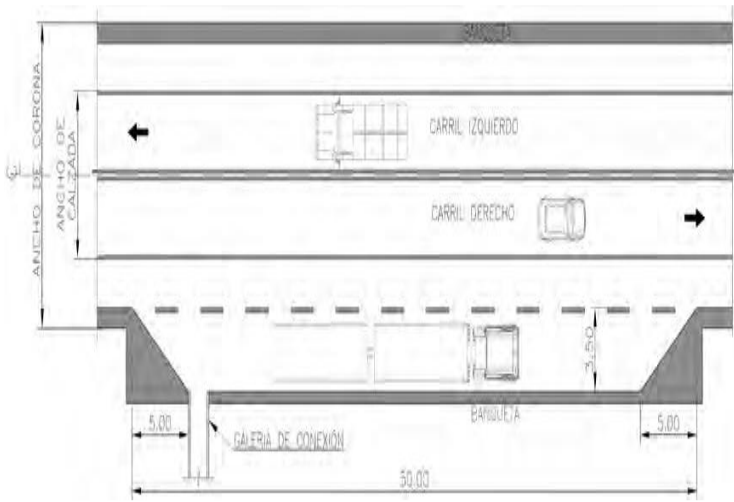


Figura 2.18. Planta tipo de túnel con bahía de emergencia.

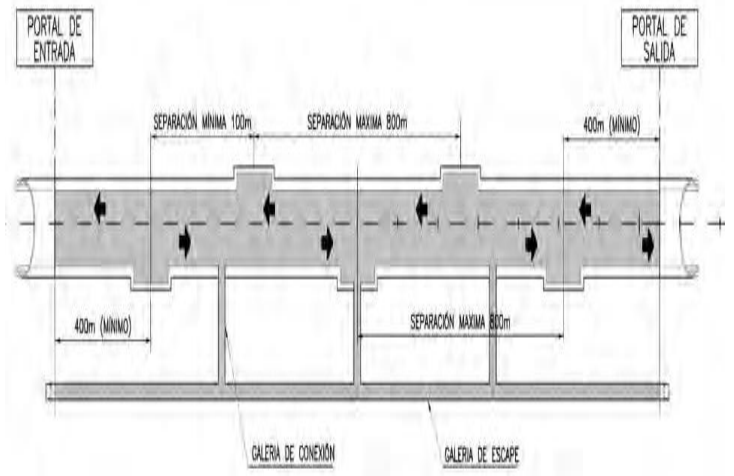


Figura 2.19. Distribución de Bahías de emergencia, túnel bidireccional.

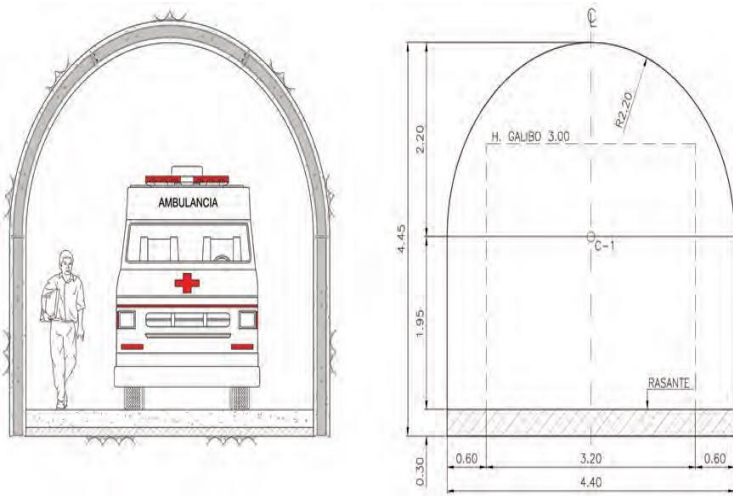


Figura 2.20. Sección geométrica y conceptual de túnel de escape (Galería).

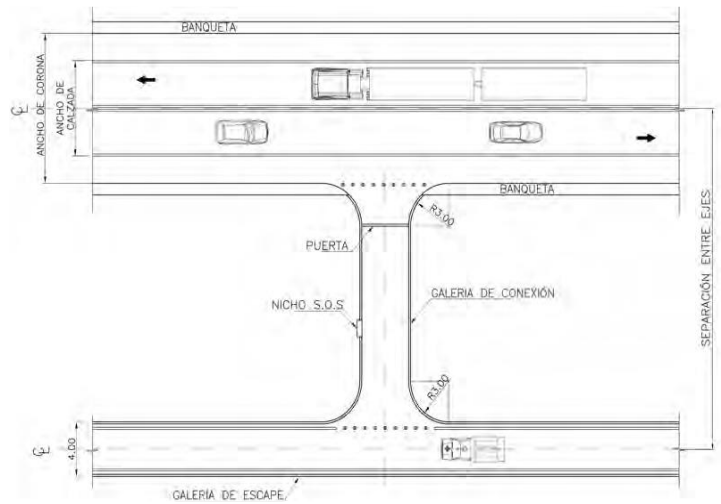


Figura 2.21. Planta de túnel de escape (Galería).

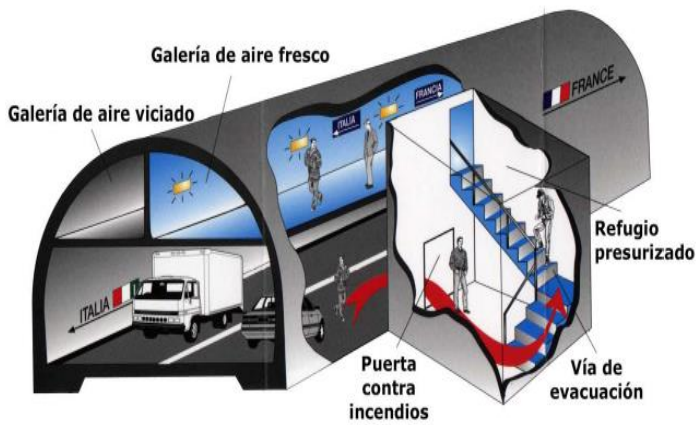


Figura 2.22. Refugio presurizado para evacuación del personal.

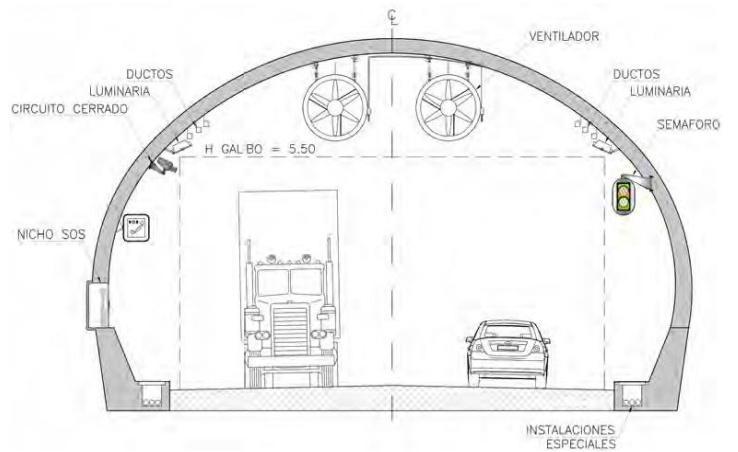


Figura 2.23. Sección de túnel con instalaciones.

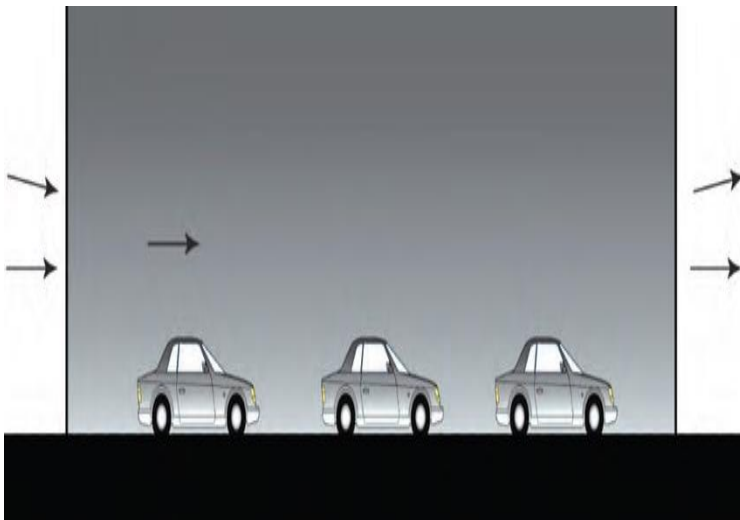


Figura 2.24. Sistema de ventilación natural.

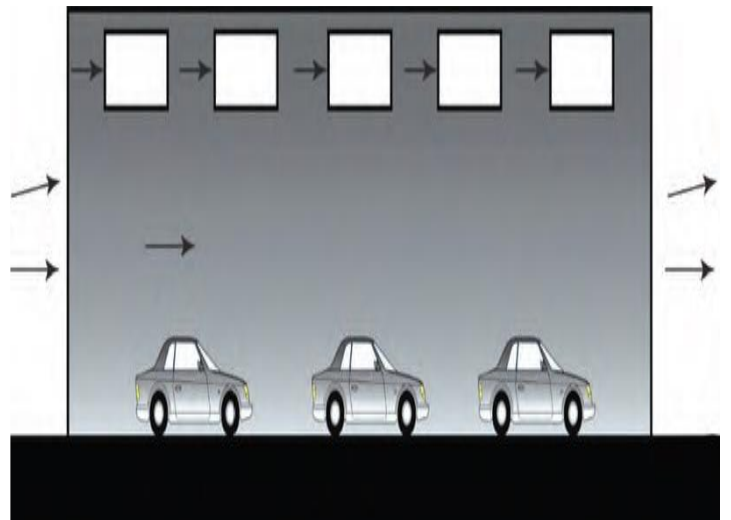


Figura 2.25. Sistema de ventilación longitudinal.

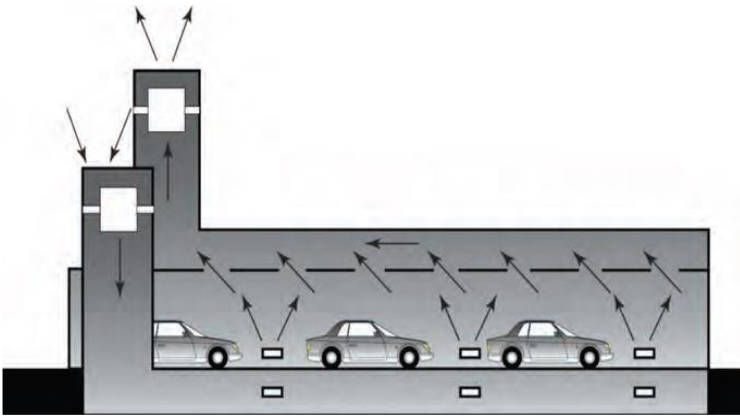


Figura 2.26. Sistema de ventilación transversal.

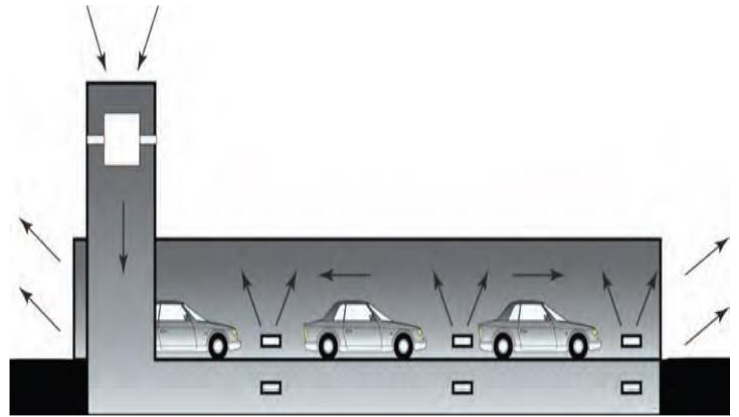


Figura 2.27. Sistema de ventilación semitransversal.



Figura 3.2. Aceras (Banquetas).



Figura 3.2. Luminaria tipo VSPA a la salida o acceso del túnel.



Figura 3.4. Iluminaria tipo LED.



Figura 3.4. Centro de control.



Figura 3.5. Sistema de detección de incendio.



Figura 3.6. Sistema automático de extinción de incendio (Sprinkler).



Figura 3.7. Circuito de televisión (CCTV)



Figura 3.8. Altavoces



Figura 3.9. Intercomunicadores.



Figura 3.10. Señal de aproximación como advertencia anterior al túnel.



Figura 3.11. Señal para indicar longitud, salidas de emergencia, bahías, bocas de incendio equipada y postes SOS.



Figura 3.12. Señal para indicar longitud (50m antes de la boca)



Figura 3.13. Señal para indicar velocidad máxima y separación obligatoria entre vehículos (50 m ante la boca)

Emergency telephone



Extinguisher



Figura 3.14. Señal de información, teléfono y extintor.



Figura 3.15. Señales que indican apartadero con postes SOS, comunicación por teléfono e intercomunicadores..

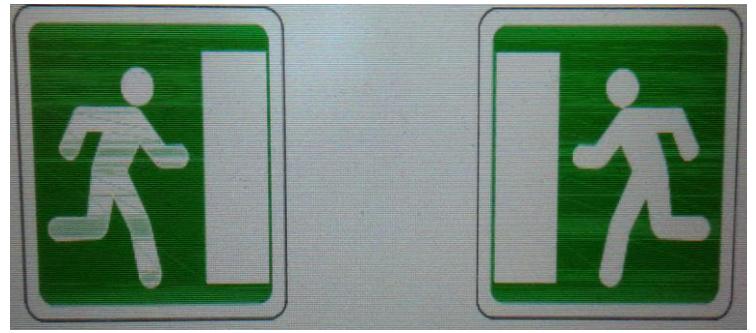


Figura 3.16. Señales para indicar salida de emergencia.



Figura 3.17. Señal para las pares de las dos salidas más próximas.



Figura 3.18. Señalización de limitación, apertura o cierre y desvío de carriles.



Figura 3.19. Señal de orientación y distancias hasta el refugio salida de emergencia más cercana.

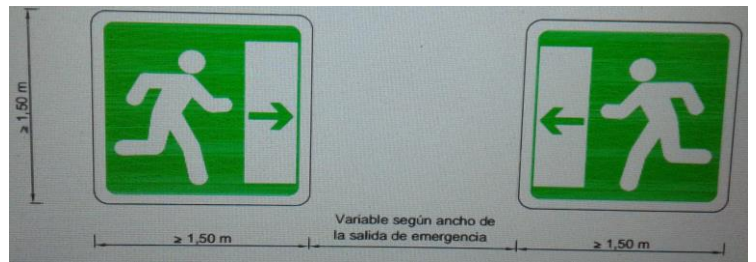


Figura 3.20. Señal de salida de emergencia.

Índice de tablas

Tabla 1. Túneles urbanos unidireccionales.

La tabla muestra el sistema de ventilación idóneo a utilizar según el tipo de túnel que se desea diseñar.

<i>Longitud</i>	<i>No ventilador</i>	<i>Ventilador longitudinal</i>	<i>Ventilador transversal</i>
300m<L<500m	prohibido	posible	posible
500m<L<1000m	prohibido	posible	posible
1000m<L<3000m	prohibido	posible	posible
3000m<L	prohibido	posible	posible

Tabla 2. Túneles urbanos bidireccionales.

La tabla muestra el sistema de ventilación idóneo a utilizar según el tipo de túnel que se desea diseñar.

<i>Longitud</i>	<i>No ventilador</i>	<i>Ventilador longitudinal</i>	<i>Ventilador transversal</i>
300m<L<1000m	prohibido	prohibido	posible
1000m<L<3000m	prohibido	prohibido	posible
3000m<L	prohibido	prohibido	posible

Tabla 3. Túneles no urbanos unidireccionales con tráfico mediano – alto.

La tabla muestra el sistema de ventilación idóneo a utilizar según el tipo de túnel que se desea diseñar.

<i>Longitud</i>	<i>No ventilador</i>	<i>Ventilador longitudinal</i>	<i>Ventilador transversal</i>
300m<L<500m	posible	posible	posible
500m<L<800m	prohibido	recomendado	posible
800m<L<3000m	prohibido	recomendado	posible
3000m<L<5000m	prohibido	recomendado	posible
5000m<L	prohibido	recomendado	posible

Tabla 4. Túneles no urbanos bidireccionales con tráfico mediano – alto.

La tabla muestra el sistema de ventilación idóneo a utilizar según el tipo de túnel que se desea diseñar.

<i>Longitud</i>	<i>No ventilador</i>	<i>Ventilador longitudinal</i>	<i>Ventilador transversal</i>
300m<L<500m	posible	posible	posible
500m<L<800m	prohibido	recomendado	posible
800m<L<3000m	prohibido	recomendado	posible
3000m<L<5000 m	prohibido	recomendado	posible
5000m<L	prohibido	recomendado	posible

Tabla 5. Valor aproximado de los servicios de construcción.

Actividad	Índice		UM	Cantidad	Importe (Mp)
	UM	Valor (Mp)			
Excavación	Mp x m ³	0,184	m ³	350601,20	64510,62
Revestimiento insitu	Mp x m ³	0,204	m ³	886,20	180,78
Revestimiento con gunitaje	Mp x m ³	0,100	m ³	13045,23	1304,52
Pavimentación rígida con Hgón Rbk 30.0 Mpa	Mp x m ³	0,240	m ³	6723,00	1613,52
Revestimiento de taludes	Mp x m ³	0,100	m ³	46,00	4,60
Instalaciones eléctricas de alumbrado	Mp x m	0,250	m	5400,00	1350,00
Instalaciones eléctricas de fuerza	Mp x m	0,650	m	5400,00	3510,00
Instalaciones de ventilación	Mp x m	0,350	m	5400,00	1890,00
Instalación de señalizaciones y balizas	Mp x m	0,050	m	5700,00	285,00
Instalación Sistema Contra Incendio	Mp x U	0,100	U	440	44,00
Construcción Centro de control	Mp x U	500,0	U	1	500,00
Instalación cámaras video vigilancia	Mp x U	3,0	U	54	162,00
Valor total según renglón variante			Mp		75355,04
Presupuestos independientes (PI)	K =	0,65			48980,78
Valor total de los servicios de construcción			Mp		124335,82