

COMUNICACIÓN PARA EL XI CONGRESO IMM. ZARAGOZA, JUNIO DE 2002

TASAS DE MORTALIDAD POR ACCIDENTES DE TRABAJO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

FATALITY RATES IN TUNNEL CONSTRUCTION

MANUEL ROMANA RUIZ. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Ingeniería del Terreno. Universidad Politécnica de Valencia.

RESUMEN: Este artículo fue enviado, como comunicación, al reciente IX Congreso Mundial de Minería, celebrado en Zaragoza en Junio de 2002.

La comunicación repasa los datos históricos de mortalidad por accidente de trabajo durante la construcción de diversos túneles en el mundo (a) y en España (b).

a)	- túnel ferroviario de S. Gotardo	1872-1882	15 km
	- túnel carretero del Mont-Blanc	1959-1962	12 km
	- túnel ferroviario submarino del Seikan	1965-1985	30 km
	- túnel bajo el canal de La Mancha	1989-1995	40 km
b)	- túnel ferroviario de Argentera	1882-1890	4 km
	- túnel carretero de Guadarrama I	1959-1963	3 km
	- túneles de autopista de Garraf	1990-1993	10 km

Se comparan las tasas de mortalidad (en muertos/km) y se presenta y discute su evolución histórica. Se mencionan los ingenieros envueltos en la construcción de los túneles españoles citados.

PALABRAS CLAVE: CONSTRUCCION,HISTORIA DE LOS TUNELES, SEGURIDAD Y SALUD, ACCIDENTE

ABSTRACT: This article was sent as a paper, to the "IX Congreso Mundial de Minería" recently held in Zaragoza (June 2002).

The paper gives some historical data on the construction fatalities in several tunnels over the world (a) and in Spain (b).

a)	- railway tunnel of S. Gotthard	1872-1882	15 km
	- road tunnel of Mont-Blanc	1959-1962	12 km
	- submarine railway tunnel of Seikan	1965-1985	30 km
	- tunnel under Manche Canal	1989-1995	40 km
b)	- railway tunnel of Argentera	1882-1890	4 km
	- road tunnel of Guadarrama I	1959-1963	3 km
	- highway tunnels of Garraf	1990-1993	10 km

Rates of fatalities per km are compared. The paper discusses the historical evolution of the fatalities rate. There is a reference to the engineers involved in the construction of spanish tunnels.

KEYWORDS: TUNNELS, CONSTRUCTION, HISTORY OF TUNNELS, HEALTH AND SAFETY, ACCIDENT

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La aceptación del riesgo en los túneles

Tradicionalmente se solía considerar que los túneles son peligrosos "per se" y por lo tanto resultaba inevitable que durante su construcción se produjesen accidentes mortales. Y de hecho se han producido muchos accidentes mortales en túneles en construcción. Pero lo que parece comenzar con la aceptación de un hecho cuasiestadístico-la peligrosidad de los túneles-puede devenir fácilmente en una actitud de tolerancia fatalista.

Esa no es una actitud adecuada. La construcción de un túnel es un proceso que puede y debe ser racionalizado en todos sus aspectos (empezando por los ergonómicos de seguridad y comodidad de los operarios que la realizan), lo que conduce simultáneamente a la consecución de dos objetivos que son concomitantes y no pueden alcanzarse por separado: la protección y defensa de la vida humana y la obtención de beneficios económicos a partir de una ejecución ordenada y en plazo.

Esta doble faceta –humana y económica– de la seguridad no es una teoría, sino un hecho avalado por la experiencia española de administraciones cuidadosas –como por ejemplo las grandes empresas hidroeléctricas– y de muchas de las empresas constructoras punteras.

1.2. Evolución de las tasas de accidentalidad

Un estudio serio y riguroso de la evolución de las tasas de accidentalidad requiere el uso de universos estadísticos de gran tamaño, para evitar sesgos. Los parámetros relevantes serían los índices de frecuencia y de gravedad.

No hay registros de estos índices hasta épocas muy recientes y además se puede argumentar (como se hizo en el Reino Unido durante la construcción del Túnel bajo el Canal de la Mancha) que los índices "históricos" están falseados por la costumbre de no declarar todos los accidentes realmente sufridos, omitiendo los accidentes ligeros que pueden solucionarse con medidas paliativas y no originan una baja laboral apreciable.

En el marco de este artículo trataremos de obviar estos problemas utilizando las tasas de mortalidad. En el caso del índice de frecuencia de accidentes el denominador de comparación es el número de horas trabajadas. Es difícil saber si son comparables los índices correspondientes a túneles antiguos, con mucho personal y un escaso grado de mecanización, con los correspondientes a túneles modernos, mucho más mecanizados. Suele estimarse que la mecanización tiende a reducir la accidentalidad y hay casos (como el de la diferencia de accidentes entre el lado inglés y el francés del Túnel de la Mancha) que parecen confirmarlo. Pero puede arguirse que en un túnel poco mecanizado hay mucho personal en labores auxiliares,

1. INTRODUCTION

1.1. The acceptance of risks in Tunnels

Tunnels were traditionally considered as hazardous by nature and that it was inevitable that fatal accidents would occur during its construction. While many fatal accidents have indeed occurred during tunnel construction, what may start out as an acceptance of a quasi-statistical fact can well develop into a fatalistic tolerance of tunnel hazards.

This is an unacceptable attitude. Tunnel construction is a process which can and should be rationalized in all aspects of the same (starting from safety ergonomics and worker comfort), in order to meet two concomitant objectives which are not mutually exclusive: the protection and defence of human life and the gaining of financial profit on the basis of orderly work within established time limits.

This twin safety facet –human and economic– is not merely a theory but is a fact backed by Spanish experience of caring owners, as is the case of the large hydroelectric companies and many of the leading construction companies.

1.2. Development of accident rates

A serious and rigorous study of the evolution of accident rates requires the use of large scale statistic data in order to prevent bias. The most relevant parameters would be the frequency and gravity indexes of these accidents.

No records of these accident indexes have been kept until comparatively recently and it may also be argued (as was the case in the Great Britain during the construction of the Channel Tunnel) that "historic" rates were false due to the general failure to record all the accidents that really occurred and to omit slight accidents which could be solved by stop-gap measures and which did not lead to lengthy layoffs.

This paper shall attempt to offset these problems by using the fatality rates. The number of work hours is taken as the comparative denominator in terms of the accident frequency index. It is difficult to know whether it is possible to compare the indexes of old tunnels, built by huge workforces and with a very limited degree of mechanization, with that of the far more mechanized modern tunnels. It is normally considered that mechanization tends to reduce the accident rate and there are cases (as may be seen in the difference between the English and French sides of the Channel Tunnel) which seem to confirm this. However, it may also be argued that in a tunnel with little mechanization, a large part of the workforce are engaged in auxiliary work and are not exposed to real hazards. This then diminishes the statistical value of the indexes which should reflect the degree of danger of the workforce directly involved in the construction and, therefore, it would be necessary to ignore the auxiliary

no expuesto a un peligro real, y ello disminuye el valor estadístico de los índices que deberían reflejar el grado de peligro del personal directamente implicado en la construcción, lo que exigiría prescindir del personal auxiliar, e incluso del personal ancilar, abundante en los túneles construidos antes del tercer tercio del siglo XX.

Puesto que carezco de datos estadísticos de los túneles antiguos y tampoco estoy seguro de que, si existiesen, serían útiles para analizar la evolución de la accidentalidad, voy a limitarme a comparar varios túneles atendiendo al número de muertos por kilómetro de túnel, que denominaré tasas de mortalidad. Se obtendrán así cifras estimativas, no estadísticas, que pueden ser útiles para estudiar la evolución durante los últimos 150 años.

1.3. Las catástrofes

Según el Diccionario de la Real Academia una catástrofe es un "suceso infausto, que altera gravemente el orden de las cosas" (1ª acepción), pero también puede ser "cosa de la mala calidad o que resulta mal, produce mala impresión, está mal hecha ..." (2ª acepción). De manera que una catástrofe es a la vez un suceso desgraciado y/o algo mal organizado. En los túneles se han producido catástrofes con pérdida de vidas humanas. Algunas se reseñan, como ejemplo, a continuación.

A mediados del siglo XIX, en una fecha que no he podido precisar, murieron 63 trabajadores durante la excavación del túnel de HAUERSTEIM en Suiza, por sofocación. No se había previsto que la temperatura aumenta de forma progresiva con la profundidad y que, a partir de ciertos límites, es preciso utilizar medios específicos (ventilación, aspersión de agua, refrigeración...) para rebajarla. A partir del desastre del túnel de HAUERSTEIM el hecho se tuvo en cuenta, previniéndolo y enfriando artificialmente el aire del túnel. El record de temperatura registrado fue de 55°C en el 1º túnel del SIMPLON (1898-1906) a 2.200 m de profundidad. La legislación actual suiza ha establecido en 30°C el límite de temperatura para cualquier trabajo en un túnel en construcción o en explotación.

El 24 de Febrero de 1908 un alud de nieve en la zona de GOPPENSTEIN arrasó una residencia de obra del túnel de LOTSCHBERG. El edificio fue "levantado en vilo y transportado ladera abajo". Murieron 12 de las 13 personas que estaban comiendo cara a la montaña (sólo se salvó uno de ellos, el ingeniero Sylva) mientras que los 17 que estaban sentados mirando hacia el valle no perecieron. El alud podría haber sido previsto. Los lugareños habían hecho notar que la zona donde se construyó la residencia era devastada frecuentemente por aludes.

Un estudio serio y riguroso de la evolución de las tasas de accidentalidad requiere el uso de universos estadísticos de gran tamaño, para evitar sesgos. Los parámetros relevantes serían los índices de frecuencia y de gravedad

A serious and rigorous study of the evolution of accident rates requires the use of large scale statistic data in order to prevent bias.

The most relevant parameters would be the frequency and gravity indexes of these accidents

and support personnel which were so abundant in tunnels built prior to the last third of the 20th century.

As I lack the statistical data regarding old tunnels and even in the case that these were available I doubt whether they would be of use to analyze the development of accidents, I shall limit this study to comparing various tunnels in accordance with the number of fatalities per km of tunnel and which I shall refer to as the fatality rate. This will then provide approximate rather than statistical figures which may be of some use in the study of this development over the last 150 years.

1.3. Catastrophes

The Spanish dictionary (Diccionario de la Real Academia) defines a catastrophe as an "unfortunate event producing a subversion of the order of things" but also goes on to provide a further acceptance, rather similar to the English definition of "disaster", when referring to its hyperbolic usage to define "a thing of poor quality or one which appears poor, produces a poor impression or is badly made". According to the Spanish definition of the term, a catastrophe can then be considered as an unfortunate event and/or something which has been poorly organized. Catastrophes have occurred in tunnels with serious loss of human life. Some of these incidents are detailed below by way of example.

In the mid-19th century 63 workers died by suffocation during the construction of the Hauerstein tunnel in Switzerland. No account had been made for the progressive increase in temperature with depth, which after certain levels has to be reduced by means of special aids (ventilation, sprinklers, cooling, etc.). This factor was subsequently taken into account after the Hauerstein tunnel disaster, by employing preventative measures and artificially cooling the tunnel air. The highest temperature ever recorded in a tunnel was that of 55°C at a depth of 2,200 m in the first Simplon tunnel (1898-1906). Current Swiss legislation has established a 30°C temperature limit for any tunnel under construction or in operation.

On 24 February 1908 an snow avalanche in the Goppenstein area swept away a site residence during the Lotschberg tunnel construction. The building was "raised off the ground and swept downhill". 12 of the 13 people who were eating facing the mountain side were killed (only one of them, the engineer Sylva, survived) while none of the other 17 who were sat facing the valley were killed. This avalanche could have been predicted as the locals had reported that the area where the site hut had been built was frequently subject to avalanches.

El 23 de julio de 1908 se llevaban excavados 2650 m en el túnel de LOTSCHBERG y se cruzaba el valle de GASTEREN a 172 m de profundidad bajo el lecho del río KANDER. A las 3 a.m. del día 24 de julio se produjo una violenta irrupción en el frente de aluviones y agua tras disparar una pega perforada en "caliza compacta con vetas de calcita". Perecieron los 25 obreros que estaban en el túnel, que se llenó totalmente de derrubios en una longitud de más de 1 km. El valle había sido excavado por un glaciar hasta una profundidad de 250 m bajo el lecho actual del río, y estaba relleno de sedimentos glaciares y glaciofluviales. Este hecho era desconocido porque no se habían realizado sondeos previos. Hubo sondeos, a posteriori, y se decidió soslayar el cruce del valle mediante un alargamiento del túnel de casi un kilómetro (tras ponderar, y desechar, métodos de tratamiento de los sedimentos como congelación o inyección). Sólo se recuperó un cadáver, enterrado ceremonialmente como representante de todo el turno. Los restantes descansan todavía bajo el valle.

Pero no todas los desastres son "naturales". Puede provocarlos el hombre. El 28 de julio de 1871 una huelga de los obreros, mayoritariamente italianos, que trabajaban en la excavación de la boca N del túnel ferroviario de S. GOTARDO, en el cantón de URI, en la Suiza de habla alemana, fue reprimida por tropas de la policía y del ejército. La causa de la huelga era una queja por los bajos sueldos y las condiciones de salubridad y seguridad en el trabajo, que los obreros juzgaban insuficientes. Hubo 4 muertos y, en protesta, 80 obreros abandonaron el túnel.

Se han producido muchas más catástrofes, "naturales" o no. La causa última es siempre la misma: imprevisión de unas condiciones en el entorno del túnel, imprevisión que conduce a un error grave. En muchos casos las condiciones adversas pudieron haber sido previstas. En el túnel de HAVERSTEIM la temperatura debió subir conforme se avanzaba. En el valle de GASTEREN se hicieron sondeos..... después de la catástrofe. El alud de nieve de GOPPENSTEIN era considerado como posible, a decir de los lugareños. El ingeniero Louis Favre, contratista de las obras del túnel de S. GOTARDO, mejoró las condiciones de trabajo, después de la algarada. Seguramente el descontento de los obreros no surgió súbitamente sino que debió desarrollarse de forma gradual.

En todo caso, como muestra valen los casos reseñados, que señalan la necesidad de realizar un ejercicio completo de previsión de todas las circunstancias, imaginables o no imaginables, antes de comenzar el trabajo y de estar completamente atento durante el desarrollo de la obra ante cualquier cambio, sistemático o no.

2. ALGUNAS EXPERIENCIAS EUROPEAS

En Europa, y hasta la época reciente, la inmensa mayoría de los túneles de gran longitud se ha construido bajo los Alpes

By 23 July 1908, 2650 m of the Lotschberg tunnel had been excavated and it already crossed the Gasteren valley some 172 m below the bed of the River Kander. At 03.00 a.m. on the 24 July the tunnel face was violently flooded by water after the blasting of a round drilled in "dense limestone with calcite veins". The 25 workers in the tunnel all died and over 1 km of tunnel was totally filled with debris. The valley had been formed by a glacier down to a depth of 250 m below the current river bed and was filled with glacial and glacial-fluvial deposits. This factor was not known as no previous borings had been made. Subsequent borings were then carried out and it was decided to offset the valley crossing and further lengthen the tunnel by almost a kilometre (after considering and rejecting deposit treatment methods such as freezing or injection). Only one corpse was recovered and this was ceremonially buried as the sole representative of a whole shift of workers. The other workers still remain buried beneath the valley to this day.

However, not all disasters are "natural" and these can well be caused by human action. On 28 July 1871 a workers' strike, largely formed by Italian people working on the excavation of mouth N to the St Gotthard railway tunnel in the Swiss canton of Uri, was repelled by the police and army. The strike was in protest for the low wages and poor health and safety conditions in the tunnel. Four miners were killed and 80 workers subsequently abandoned the tunnel in protest.

Many more disasters have occurred, regardless of whether these were "natural" or not. The cause of these always tends to be the same: a lack of prevision of conditions in and around the tunnel, which then leads to serious error. In many cases the adverse conditions could have been predicted. In the Haversteim tunnel the temperature would have risen with the advance, in the Gasteren valley test borings were only made after the event and with regards to the Lotschberg tunnel, the locals had already warned of the possibility of avalanches in the Goppenstein area. The Engineer Louis Favre, the St Gotthard tunnel contractor, improved conditions after the strike, though it is clear that the workers' discontent did not just come out of the blue but had been gradually building up over a period of time.

These cases all reveal the need to carry out a thorough examination of all the imaginable and unimaginable circumstances prior to beginning work and that full attention should be paid during the work to any possible change in conditions, be they systematic or otherwise.

2. EUROPEAN EXPERIENCE

In Europe, and until recent times, the vast majority of long tunnels were built below the Alps in order to establish first rail and then road communication across this vast Alpine range. In the table 1 lists some of the more outstanding early Alpine tunnels.

CUADRO 1. GRANDES TÚNELES ALPINOS/TABLE 1. LARGE ALPINE TUNNELS

Nombre Name	Longitud (Km) Length (km)	Características Characteristics	Fecha Date	País Country
MONT CENIS (1)	12.2	Ferrocarril doble vía/Dual track railway	1857-1971	Francia – Italia/France - Italy
S. GOTARDO (2)	15.0	Ferrocarril doble vía/Dual track railway	1872-1981	Suiza/Switzerland
ARLBERG	10.3	Ferrocarril doble vía/Dual track railway	1880-1984	Austria/Austria
SIMPLON I	19.8	Ferrocarril vía única/Single track railway	1898-1906	Suiza – Italia/Switz.- Italy
SIMPLON II (3)	19.8	Ferrocarril vía única/Single track railway	1918-1921	Suiza – Italia/Switz.- Italy
LOTSCHBERG	14.6	Ferrocarril doble vía/Dual track railway	1908-1913	Suiza/Switzerland

(1)Primera utilización del aire comprimido para perforar/First use of compressed air in drilling

(2)Primera utilización de la dinamita, inventada por Alfred Nobel en 1875/First use of dynamite, invented by Alfred Noble in 1875

(3)Perforado ensanchado una galería auxiliar excavada simultáneamente con el SIMPLON I/Broadening of an auxiliary tunnel bored simultaneously with the SIMPLON I.

para salvar el obstáculo que la cordillera alpina suponía para las vías de comunicación, ferroviarias primero y después por carretera. En el cuadro 1 se relacionan algunos de los antiguos túneles alpinos más notables

En el túnel ferroviario de S. GOTARDO se produjeron 177 muertos y 403 lesiones graves. El túnel, que era el segundo bajo los Alpes, se construyó entre los años 1872 y 1882. Tenía 15 km de longitud. Las condiciones de trabajo eran durísimas. El calor y el agua limitaban el período de trabajo útil de un hombre a 3 / 4 meses. Y también el de las mulas y caballos utilizados para el remolque de escombros, que parecían a un ritmo de una diaria. En conjunto trabajó en el túnel una media de 2.480 obreros, con un máximo mensual de 3.877. La tasa de mortalidad fue de 11,8 muertos por km.

El Ingeniero ginebrino Louis Favre asumió la función de contratista (e ingeniero jefe) con un contrato prácticamente llave en mano, firmado gracias al apoyo económico de personas e instituciones del Cantón de Ginebra. Hombre lleno de buena voluntad intentó, sin éxito, mejorar las condiciones de vida y trabajo del personal, se arruinó completamente y murió de un colapso en el interior del túnel mientras inspeccionaba los trabajos, el 19 de julio de 1879, antes del cuele el día 28 de febrero de 1880 en que se encontraron las dos galerías, Norte desde GOSCHENEN y Sur desde AIROLO. Sus hombres no lo olvidaron y lo primero que cruzó el cuele, y todo el túnel de Norte a Sur, fue una caja con su retrato. El túnel ferroviario del GOTARDO ha constituido un eslabón clave en la red ferroviaria europea y redujo de 27 a 5.5 horas el tiempo de viaje entre Lucerna y Milán.

En el túnel carretero de MONT BLANC murieron 17 hombres (muchos de ellos a causa de avalanchas en el exterior). El túnel tiene 12 km de longitud y fue construido entre 1959 y 1962. La tasa de mortalidad fue de 1,4 muertos por km. En la obra se realizaron grandes esfuerzos en pro de la seguridad, con un excelente equipo de medicina y prevención de accidentes. Las condiciones de trabajo resultaron mejores en el lado

During the construction of the St Gotthard railway tunnel 1872 and 1882, the second tunnel to be built through the Alps, 177 workers died and there were 403 serious injuries. The work conditions on this 15 km long tunnel were extremely hard and the heat and water limited the working period of the workers down to 3/4 months. The conditions also affected the mules and horses employed to clear the rubble, and these perished at a rate of one a day. An average of 2,480 workers worked on the tunnel with a maximum monthly figure of 3,877 workers. The fatality rate during construction worked out at 11.8 deaths per km.

The Swiss engineer, Louis Favre, took on the role as contractor (and chief engineer) with a practically key in hand contract signed as a result of the economic support received from figures and institutions in the Geneva canton. He was a man of good intentions who tried, without success, to improve the work and personal conditions of his workers, but he ended up completely bankrupt and died of a stroke inside the tunnel on 19 July 1879 while inspecting the work. His death occurred prior to the breakthrough on 28 February 1880 when the two galleries, the northern gallery from Goschenen and the southern gallery from Airolo, were finally joined up. His men did not forget him and a chest containing his portrait was the first thing to cross the meeting point and to pass the entire length of the tunnel. The Gotthard railway tunnel served as a key link in the European railway network and cut the travel time from Lucerne to Milan from 27 hours down to 5.5 hours.

17 men were killed on the Mont Blanc road tunnel (mainly as a result of avalanches in the surrounding areas). The 12 km long tunnel was built between 1959 and 1962 and had an ensuing fatality rate of 1.4 deaths per km. A great effort was made during construction to ensure safety conditions and this was further backed up by a professional medical team and accident prevention. The work conditions were better on the French side than on the Italian side, this latter being plagued

francés que en el italiano, plagado por desprendimientos de roca en el interior, y aludes y avalanchas en el exterior. Cuando se terminó era el túnel carretero más largo del mundo y unía Francia e Italia bajo el más alto monte europeo, el Mont Blanc (4.800 m).

El túnel del SEIKAN es, probablemente, el más difícil del mundo, e incluye en total más de 90 km de túneles, galerías y pozos de diverso gálipo. La mayor parte de ellos están bajo el mar, en el estrecho de Tsugaru entre las islas de Hondo y Hokkaido, con presiones de agua que superan los 300 m de altura. Se terminó en 1985 y su tasa de mortalidad ha sido del orden de 0,40 muertos por km. Una proporción importante de los accidentes mortales se ha producido en los dos profundos planos inclinados de acceso a ambos lados del estrecho. Además los residuos de obra (madera, aceites) se incendiaron varias veces dentro del túnel.

En el túnel de LA MANCHA (que en realidad son tres túneles paralelos) se produjeron 10 accidentes mortales (8 en el lado inglés, más largo, y 2 en el lado francés, más corto pero más mecanizado). La longitud total de los 3 túneles fue de 149 km, a la que hay que añadir algunos túneles, pozos y galerías auxiliares en los dos extremos de la obra, las conexiones de escape entre los dos túneles principales y el de servicio y las galerías de compensación de presión entre túneles. Además se construyeron dos importantes cámaras bajo el mar. Se puede estimar en 160-165 km la longitud total lo que da una tasa de mortalidad de 0,056 muertos por kilómetro (un muerto cada 18 km).

Durante la primera época de la construcción se realizaban cursos sobre Seguridad para Ingenieros y Responsables y hubo inspecciones de seguridad al ritmo de una por semana. Sin embargo, cuando se produjo el 7º muerto en el lado inglés se desencadenó una campaña de alarma con repercusiones en la prensa. Todas las condiciones de seguridad se exigieron con más rigor. En ese momento se analizó la seguridad y se han publicado los índices de frecuencia comparativos:

• En el túnel de la Mancha	26
• En la construcción en Inglaterra	10
• En la minería en Inglaterra	31
• En la industria en Inglaterra	4.2

Sin embargo estas cifras han sido discutidas con el argumento de que en la construcción, y en la industria en general, no se registraban todos los accidentes sino sólo aquellos que producen baja mientras que en el Túnel de la Mancha, y en la minería inglesa, se registraba cualquier accidente.

Los muertos en el lado inglés se debieron a:

• Caídas de piezas, tuberías, etc.	3
• Atropellos por locomotoras	2
• Aplastamiento por maquinaria	2
• Electrocutión	1

by rockfall within the tunnel and slides and avalanches outside the same. When the tunnel was completed it was the longest road tunnel in the world and joined France and Italy below Europe's highest mountain, Mont Blanc (4,800 m).

The Seikan tunnel was probably the most difficult in the world and includes a total of over 90 km of tunnels, galleries and shafts of different gauge. The majority of these are set below the Tsugary Strait between the islands of Hondo and Hokkaido and with water pressures of over 300 m. The tunnel was completed in 1985 and its fatality rate was set at around 0.40 deaths per km. A large percentage of the fatal accidents occurred during the construction of the two deep approach ramps either side of the straight. Furthermore, there were several tunnel fires as a result of the burning of site debris (wood, oil).

In the Channel tunnel, called the Chunnel, (which in reality is formed by three parallel tunnels), 10 fatal accidents occurred (8 on the longer British side and 2 on the shorter, but more mechanized, French side). The total length of these three tunnels was 149 km to which it is necessary to add auxiliary tunnels, shafts and galleries at both ends of the work, the cross passage connections between the two main tunnels and the service tunnel and the piston relief ducts between the tunnels. Furthermore, two huge chambers were built below the sea bed. It may then be taken that there was a fatality rate of 0.056 deaths over the total 160-165 km length of tunnelling, this being equivalent to one death every 18 km.

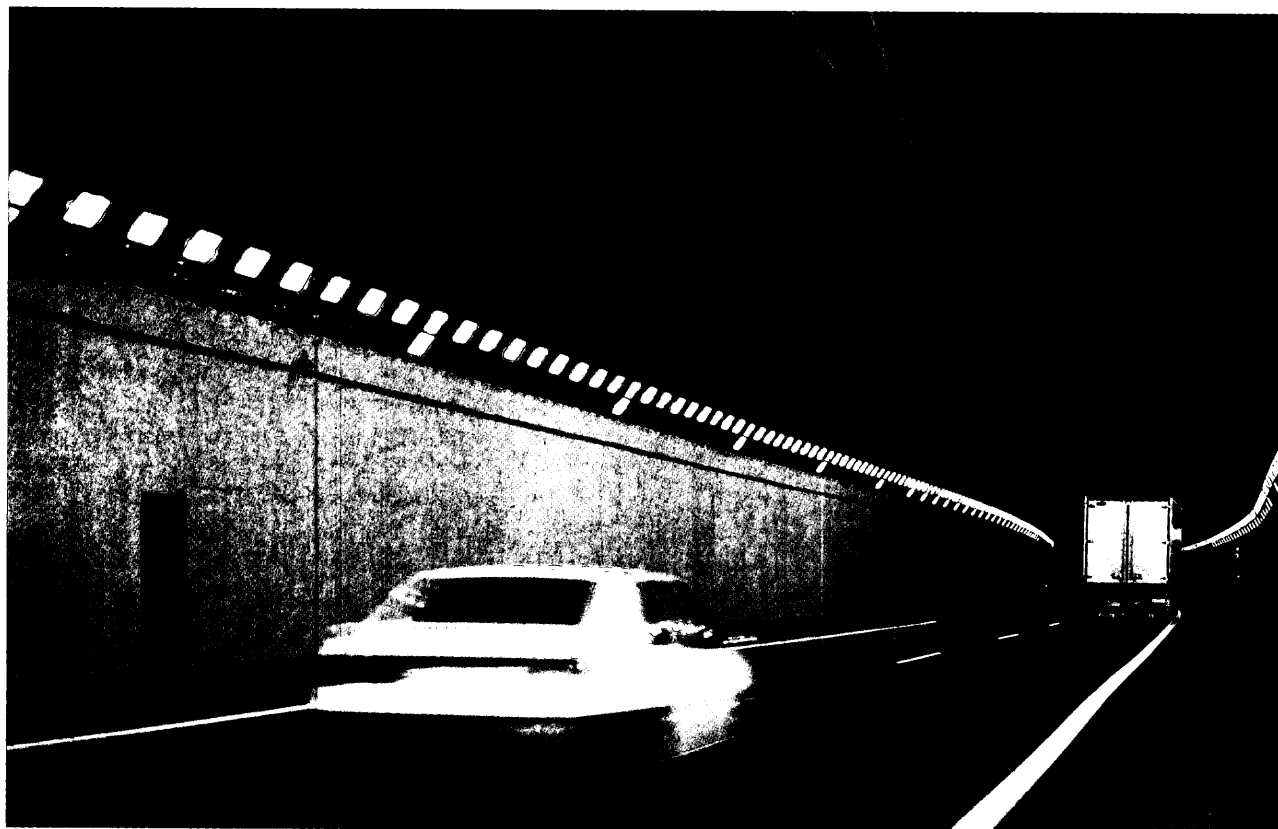
During the initial construction stages safety courses were given to engineers and site managers and weekly safety inspections were carried out. However, in the light of the 7th death on the British side, a wide-scale press campaign was set underway demanding much stricter safety conditions. At this time an analysis was made of the safety conditions and comparative accident rates were published for industrial accidents in England.

• Channel Tunnel	26
• Building trade	10
• Mining	31
• Industry	4.2

However, these figures were challenged on the basis that in construction and in industry in general not all accidents are recorded but only those leading to sick leave, while in the Channel Tunnel and in Mining every single accident was recorded.

The fatal accidents on the English side were due to the following:

• Falling parts, such as pipes, etc.	3
• Running over by locomotives	2
• Crushing by machinery	2
• Electrocutión	1



Túnel de Guadarrama.

3. ALGUNAS EXPERIENCIAS ESPAÑOLAS

El primer túnel ferroviario excavado por españoles fue el de CONHIXO en Asturias, perteneciente al ferrocarril de Langreo, construido para llevar pasajeros y carga de carbón de la zona minera hasta el puerto de GUÓN. Tenía 170 m de longitud y su construcción fue dirigida por el Ingeniero de Caminos José Elduayen. Es curioso que se mencione que ningún contratista se interesó por la obra y el túnel se construyó directamente por la Administración, y "se interesaba económicamente a los trabajadores, entre los que figuraban repetidamente unos de las llamadas cuadrillas de vizcainos". La obra comenzó en 1847 y carecemos de datos específicos sobre su construcción. El ferrocarril no entró en servicio hasta 1856.

No hubo hasta ahora en España túneles de vías de comunicación tan largos como los del macizo alpino. Vamos a comparar dos pares de túneles construidos en la misma época y de sección semejante: el túnel ferroviario de ARGENTERA con el de S. GOTARDO y el túnel de carretera GUADARRAMA I con el de MONT BLANC.

El túnel de ARGENTERA se construyó de 1882 a 1890 y tiene una longitud de 4 km. El ingeniero de Caminos encargado Eduardo Maristany llevó a cabo el grueso de las obras. Para ello se documentó cuidadosamente y estudió con gran detalle la construcción del túnel de S. Gotardo. Después escribió un auténtico tratado sobre los métodos de excavación de túneles y

5. SPANISH EXPERIENCE

The first railway tunnel to be built by the Spanish was the Conhixio tunnel in Asturias on the Langreo railway built to carry passengers and coal from the mining area to the port of Gijón. The tunnel is 170 m long and the construction was directed by the civil engineer José Elduayen. It is curious that no contractor was interested in building the tunnel so this was carried out by the Authorities who directly employed work gangs, among whom there is frequent mention of work gangs from the Biscay area. Work began in 1847 and while we do not have specific information regarding the construction, the railway finally came into operation in 1856.

Until recent times no road or rail tunnels have been built in Spain of a similar length to those constructed in the Alps. We shall now compare two sets of tunnels built at the same time and of similar section: the Argentera railway tunnel with the St. Gotthard tunnel and the Guadarrama I road tunnel with the Mont Blanc tunnel.

The 4 km long Argentera Tunnel was built between 1882 and 1890. The civil engineer, Eduardo Maristany was entrusted with the majority of the work and in preparation for which made a very careful and precise study of the construction of the St. Gotthard tunnel. On the basis of this study he then wrote a treatise in tunnel excavation methods as well as on accidents "due to explosions, fire, rockfalls,

también sobre los accidentes "debidos a explosiones, incendios, desprendimientos, inundaciones, etc... algo desgraciadamente habitual". Trabajaron en el túnel un promedio de 329 obreros. Se produjeron 14 muertos y 10 heridos graves lo que da una tasa de mortalidad de 3,5 muertos por kilómetro de túnel. Siete de los fallecimientos se produjeron en el frente de excavación el 18 de junio de 1890 a causa de una explosión por "encuentro del pistolete con que se abría el barreno, con otro (que había quedado) sin explotar". Maristany comenta que si este accidente no se hubiese producido "sólo se hubiera lamentado la pérdida de siete vidas, cifra verdaderamente insignificante dada la magnitud de la obra". Aunque de ninguna manera podemos compartir la afirmación de que la pérdida de siete vidas es insignificante, es preciso admitir que la capacidad técnica y el celo de Maristany ahorraron muchas vidas y alcanzaron una tasa de mortalidad reducida para su época.

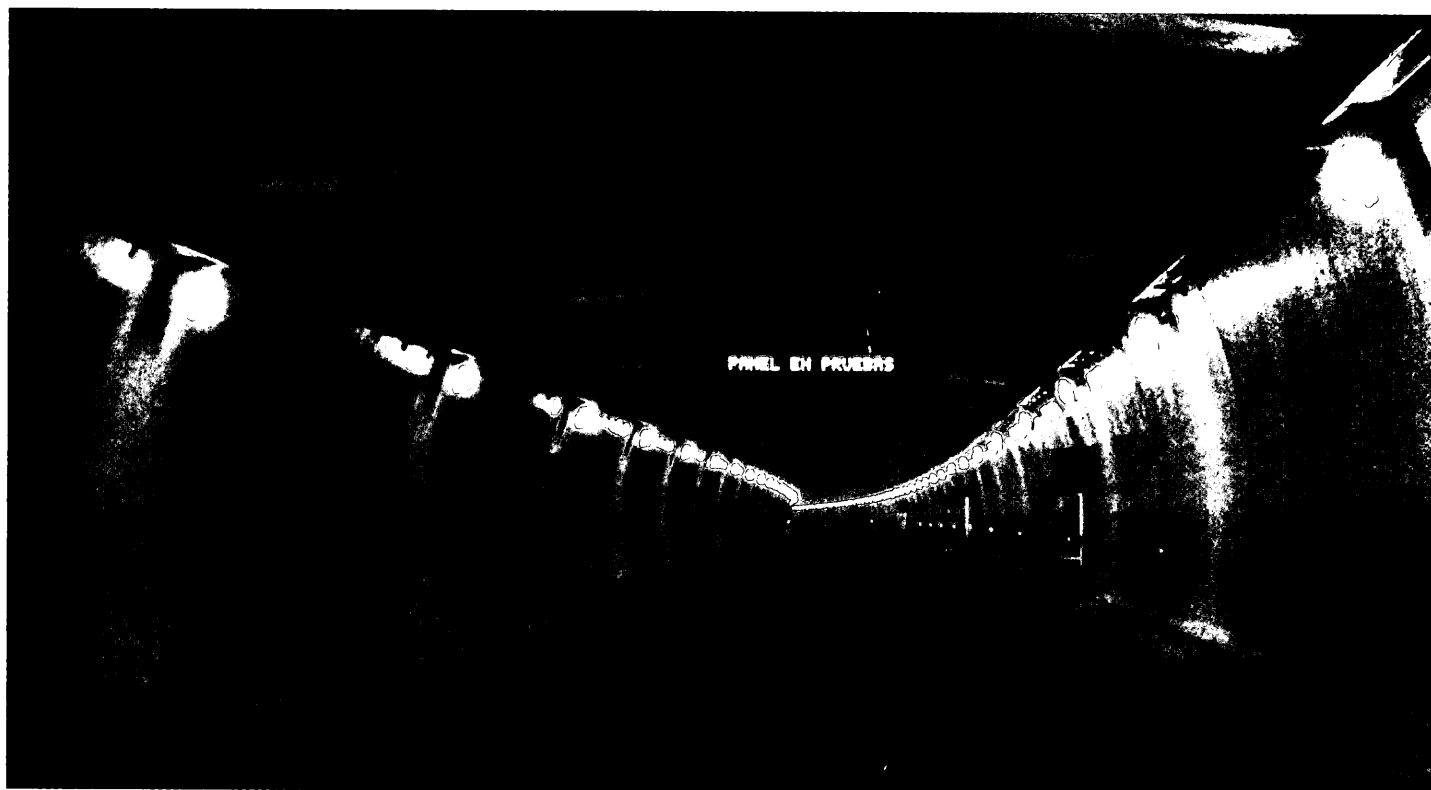
La tasa de mortalidad en el primer Túnel de GUADARRAMA, construido a principios de los años 60 fue de 3 muertos para 3.1 km similar, aunque algo más baja, que la del túnel del Mont-Blanc. Se trata del primer túnel de peaje de España, ahora englobado en la Autopista Villalba-Adanero, y su construcción fue mérito de tres ingenieros de Caminos: Cesar Sanz Pastor, que lo ideó y proyectó su trazado; Carlos Duelo, que planteó su construcción utilizando técnicas novedosas (se excavó a sección completa, con el mayor jumbo de perforación de la época) y José Joaquín Tirado que proyectó su ventilación y con el que el autor de este artículo tuvo ocasión de colaborar modestamente, recién salido de la Escuela. Dos de los tres

flooding, etc., something unfortunately all too frequent". An average of 329 workers were involved in the tunnel construction and there were 14 fatalities and 10 serious injuries which gives a fatality rate of 3.5 deaths per kilometre of tunnel. Seven of these deaths were caused at the working face on 18 June 1890 due to an explosion "caused by the accidental setting off of an unexploded charge during drilling" Maristany commented that if this accident had not happened "it would only have been necessary to lament the loss of seven lives, a truly insignificant number when considering the scale of the work". While we can in no way subscribe to the view that the loss of seven lives is insignificant, we must admit that Maristany's technical expertise and diligence saved many lives and, subsequently, obtained a very limited fatality rate for the time.

Three people died during the construction of the 3.1 km first Guadarrama tunnel, built at the beginning of the 60's, this being a similar, though somewhat lower, rate to the Mont Blanc tunnel. This was the first toll tunnel built in Spain and now forms part of the Villalba-Adanero motorway. This tunnel can be attributed to three civil engineers: Cesar Sanz Pastor, who conceived and designed the route; Carlos Duelo, in charge of construction and who employed innovative techniques (using full section excavation employing the largest boring machine of the day) and José Joaquín Tirado, who designed the ventilation and with whom the author of this article later collaborated to a modest degree just after graduating. Two of the three deaths were

Túnel en los
tramos
Madrid-
Zaragoza y
Zaragoza-
Lérida del Ave
Madrid-
Barcelona-
Frontera
francesa.





Túnel de Somport.

mueritos se produjeron por desprendimientos de bloques de granito de la clave, con la mala fortuna que ocurrieron en la misma fecha de dos meses sucesivos, lo que provocó en el personal el miedo supersticioso a la fecha infausta, miedo que después de varios meses más de trabajo se reveló injustificado.

En los túneles modernos españoles las tasas de mortalidad han descendido mucho. No hubo un solo muerto durante la construcción de los túneles de GARRAF (longitud total 10 km) entre 1990 y 1993. Tampoco en los 6 km perforándose el lado español del Túnel de SOMPORT se ha producido ningún accidente mortal.

4. TASAS DE MORTALIDAD

En conjunto la tasa de mortalidad en túneles está lejos del fatídico muerto por kilómetro (al que muchas veces se alude con ligereza), y puede estimarse así:

TASAS APROXIMADAS DE MORTALIDAD EN TÚNELES

AÑOS	MUERTOS/KM	KM/MUERTO
1870-1900	4-12	0,08-0,25
1950-1965	1-1,5	0,66-1,00
1965-1980	0,35	3
1985-1995	0,05	20

caused by granite rockfalls at the vault, and with the unfortunate coincidence that they both occurred on the same date of two successive months which then led to a superstitious fear by the workers for this ill-fated date. This fear only being eradicated after several months of work without incident.

The fatality rates have dropped dramatically in modern Spanish tunnels and no fatalities were reported on the 10 km Garraf tunnel built between 1990 and 1993, nor in the construction of the 6 km Somport Tunnel in the spanish part.

6. FATALITY RATES

The overall fatality rate is far removed from the ominous figure of one death per kilometre (which is so frequently and flippantly referred to). The fatality rate may then be estimated as follows:

APPROXIMATE FATALITY RATES IN TUNNELS

PERIOD	DEATH/KM	KM/DEATH
1870-1900	4-12	0,08-0,25
1950-1965	1-1,5	0,66-1,00
1965-1980	0,35	3
1985-1995	0,05	20

Esta espectacular y rápida mejora se ha debido sobre todo a tres razones:

- mayor mecanización (y menos personal en el túnel)
- mejor formación profesional
- mayor concienciación empresarial contra los accidentes.

Pero los accidentes siguen produciéndose y es preciso continuar la lucha contra ellos. El hecho de que la seguridad en los túneles españoles, durante su construcción, no haya sido nunca inferior a la del resto de Europa debe servirnos de estímulo para seguir mejorando los índices de siniestralidad. La lucha por la reducción de la siniestralidad tiene dos aspectos, que tienen muchos puntos comunes pero también algunas diferencias:

- Las catástrofes (o desastres) "naturales" o no, que se producen de forma circunstancial y se suelen deber a la aparición de algún factor específico no previsto.
- Los accidentes aislados, que se producen de forma más continuada, y en los que puede ser determinante la aparición de factores no previstos, pero que con frecuencia se deben al no cumplimiento de precauciones y normas de seguridad, conocidas y documentadas.

La reducción real de la siniestralidad debe basarse en un intento de prever lo imprevisible y en un esfuerzo continuado para cumplir la normativa de seguridad. ■

This spectacular and rapid improvement has been due to three reasons:

- *greater mechanization (and fewer workers in the tunnel)*
- *better professional training*
- *greater company awareness of accident prevention*

However, accidents continue to occur and it is essential to continue this battle against them. The fact that safety during construction of Spanish tunnels has always been not worse than in the rest of Europe, should serve as a stimulus for the continued improvement of these fatality rates. The fight to reduce accidents involves two aspects which have several points in common as well as certain discrepancies:

- *Catastrophes (or disasters), whether natural or otherwise, which occur as a result of circumstance and which are usually due to the appearance of a specific, yet unforeseen, factor.*
- *Isolated accidents, which occur more readily, and in which a number of unforeseen elements may be a deciding factor, but which tend to be due to the non-compliance of well-established safety rules and precautions.*

A true reduction in the accident rate can only be based on an attempt to predict the unpredictable and by making a continued effort to ensure the compliance of safety regulations. ■

BIBLIOGRAFÍA/REFERENCES

- (1) BALLARD J. (1991) "British Channel Tunnelling: safe design" Publicado en "Tunnels and Tunnelling". Primavera de 1991, pp 31-33.
- (2) DURIG P. (1971) "Welcoming speech". Resumen publicado en "Tunnels and Tunnelling". Noviembre 1971, pp 407-411.
- (3) HEALTH & SAFETY EXECUTIVE (1994) "UK accident rates per 100.000 employees". Publicado en "International Construction" Mayo 1994, pp 24.
- (4) KOVARI K. & FECHTIG R. (1996) "Historische Alpendurchstiche in der Schweiz" Gesellschaft für Ingenieurbaukunst Zurich.
- (5) RODRÍGUEZ J.L. (1992) "Viaje por las entrañas de la tierra". En "Historia del ferrocarril en España". Revista del Ministerio de Obras Públicas y Transportes Nº 400 pp 122-131.
- (6) ROMANA M. (2001) "Seguridad y salud en la construcción de túneles". Conferencia en el Curso organizado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Valencia. No publicado.