

A photograph of two workers in a large tunnel. One worker is wearing a blue uniform and the other a red one with a yellow vest. They are holding a large Union Jack flag and a French flag. The tunnel has tracks on the floor and curved walls.

EL TÚNEL DEL CANAL DE LA MANCHA

ENTRE EL CONTINENTE Y EL OCÉANO

RUTA INTI, 2019

Trabajo Científico

Índice

1	Introducción	2
2	Diseño del Túnel	4
3	Construcción	6
4	Impacto Socioeconómico	11
5	Conclusión	11

*“Every generation has to do something exciting that will affect the future.
This is wonderful, even better than I thought it would turn out.”*

MARGARET THATCHER

PRIMERA MINISTRA BRITÁNICA QUE DIÓ EL VISTO BUENO AL PROYECTO

1. Introducción

Atendiendo a las circunstancias actuales y previendo el desarrollo que experimentarán las sociedades en un futuro próximo, hoy en día es de fundamental importancia fomentar que se tiendan puentes entre gobiernos para mejorar sus relaciones y así conseguir unas bases más sólidas sobre las que levantar los cimientos de las generaciones venideras.

Esta situación viene motivada, en parte, gracias a los increíbles avances que ha sufrido el mundo del transporte en el último siglo. Durante miles de años, las comunidades estuvieron aisladas unas de otras a causa de la orografía y los accidentes geográficos, pero gracias a las mejoras en los transportes esto cambió y permitió las relaciones entre ellas. El desarrollo del comercio y de los grandes imperios fue consecuencia de estas mejoras y a causa de ello se pudieron diseñar botes y puentes cada vez de mayores dimensiones, construir miles de kilómetros de calzada de piedras, o llegar a territorios desconocidos. Sin embargo, ha sido en los últimos años cuando se ha conseguido *reducir las distancias* entre países al mínimo y mejorar aspectos básicos para su desarrollo como el turismo o la exportación.

En el caso del Reino Unido, su situación es crítica. Cuenta la leyenda que, en los años 50, una espesa niebla cubrió el estrecho canal que lo separa del continente impidiendo la orientación marítima. Ante este hecho, The Times hizo portada un famoso titular apócrifo "Fog In Channel, Continent Cut Off", con el cual criticaba las siempre difíciles relaciones entre las islas y la Europa continental (Hooley, 2017). Es fácil suponer que su situación los hizo totalmente dependientes del transporte marítimo, y más tarde del transporte aéreo, hasta la construcción del túnel del canal de la Mancha. Éste, una de las Siete Maravillas del Mundo Moderno, ya fue propuesto en multitud de ocasiones durante el siglo XIX, siendo incluso Napoleón el primer gobernador que se planteó la construcción de un túnel que conectara Gran Bretaña con el continente. En 1802 se hizo un primer diseño con vistas de ser utilizado por carruajes de caballos y en 1834, por ferrocarril. Sin embargo, no fue hasta 1875, cuando dos leyes simultáneas fueron aprobadas por los Parlamentos inglés y francés autorizando a la *Channel Tunnel Company Ltd.* la realización de las pruebas preliminares, comenzadas en 1880. Finalmente, este proyecto no se concluyó debido a la inestabilidad política en ambos países y a la opinión de eminencias como el 19º Lord

Forbes, quien argumentaba que además del desembolso excesivo que acarrearía, sería el precursor de mayores conflictos, invasiones y temores (Gammell, 1883). A pesar de ello, parte del túnel construido en ese período todavía se conserva.

En el año 1984, los gobiernos inglés y francés llegaron a un acuerdo para la licitación de un proyecto que uniera ambos países, con las condiciones de ser financiado en su totalidad por fuentes privadas y asignado mediante concurso público. Para octubre del año siguiente hasta 10 propuestas diferentes fueron presentadas entre las que se incluían, además del Eurotunnel, diseños de puentes colgantes o carreteras a través de islas artificiales. La propuesta ganadora fue la de CTG/FM, un conglomerado de 15 empresas franco-británicas liderado por Lord Pennock y André Bénard, que más tarde se reconstituyó como Eurotunnel Group (Allen, 1993).

El túnel definitivo se inauguró en mayo de 1994, poniendo fin a seis años de trabajo de uno de los proyectos más ambiciosos de la Unión Europea y agilizando en gran medida el transporte de turistas y mercancía, desde y hacia las islas británicas.

Hoy en día, el túnel del canal de la Mancha, también habitualmente conocido como “Chunnel” por su nombre en inglés (*Channel Tunnel*), es una estructura submarina de más de 50 kilómetros que cruza el Canal de la Mancha conectando el sur-este de Inglaterra con el norte de Francia; más concretamente, las ciudades de Folkestone y Coquelles. Esta infraestructura permite el paso de 400 trenes diarios, con una media de 50 000 pasajeros, 6 000 vehículos y 54 000 toneladas de mercancías (ICE, s.f.).

2. Diseño del Túnel

El túnel, a pesar de tener una longitud máxima de 50.450 m, solamente tres cuartas partes de él están construidas bajo el agua, es decir, 37 900 metros. Aun así, continúa siendo el túnel submarino más largo del mundo. No obstante, el túnel no estuvo diseñado y construido como una única perforación entre parte y parte, por lo que su longitud total acabó siendo de más de 153 000 metros.

Escavado a una profundidad media de 45 metros por debajo del nivel del lecho marino, con una profundidad máxima de 75 metros bajo tierra y 115 bajo el nivel del mar, la estructura consiste en dos túneles ferroviarios principales, por donde circulan los trenes de alta velocidad, con un túnel de servicio auxiliar situando entre ellos para facilitar los desplazamientos extraordinarios y las labores de evacuación. Este túnel de servicio está conectado a los dos principales cada 375 metros mediante 245 pasarelas, y carece de vías férreas. Es tan solo una carretera por la que poder circular vehículos auxiliares.

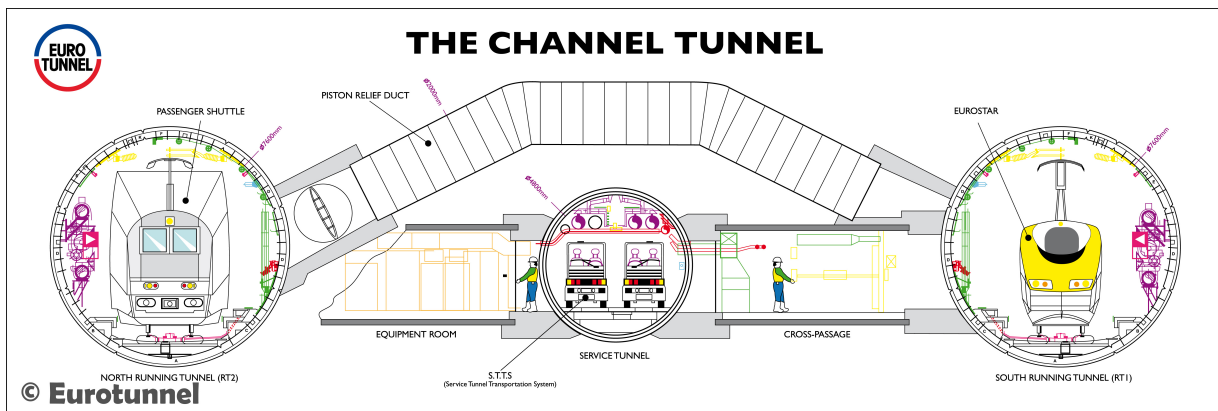


Figura 1: Sección frontal del diseño de los tres túneles (McKey, 2010).

Adicionalmente a los tres túneles paralelos y a las pasarelas transversales que los conectan, se construyeron numerosos conductos de ventilación por encima de los túneles. Estos se encuentran distribuidos cada 250 metros, y con sus dos metros de diámetro ayudan a liberar la presión dinámica generada por la gran velocidad a la que circulan los trenes¹. Relativo a esta magnitud, también se diseñó un sistema que mantiene la presión en el túnel de servicio con un valor

¹La velocidad de diseño de los trenes fijada para calcular las tensiones y esfuerzos en los conductos fue de 160 km/h o 99 mph (Getlink, s.f.).

ligeramente superior al atmosférico para así evitar que, en caso de accidente o incendio, esta sección se inunde de gases tóxicos (Carvel, 2010). Por último, el diseño incluyó dos cruces entre las líneas para poder cambiar los vehículos de túnel en caso tanto de mantenimiento como de emergencia, como se puede apreciar en la figura 2.

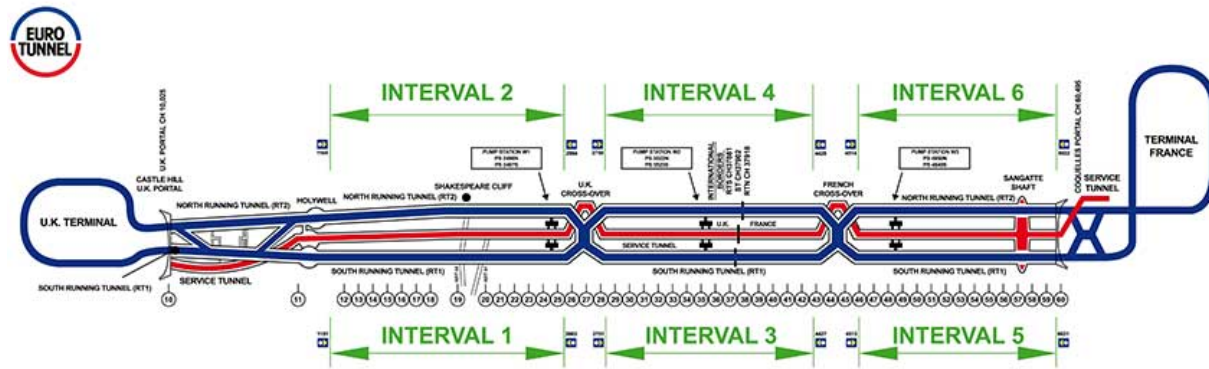


Figura 2: Vista superior del recorrido esquemático de los tres túneles entre las terminales (Reynolds, 2015).

En cuanto a sus dimensiones interiores, el sistema de túneles ferroviarios, se construyó con un diámetro máximo de 7,6 metros separados por 30 m eje a eje; mientras que el túnel de servicio, de menor tamaño, tan solo mide 4,8 metros y está situado en un eje equidistante a las dos estructuras principales.

El material principal utilizado durante la construcción de los túneles fue el hormigón armado reforzado con granito, utilizado para el revestimiento de las caras interiores de la estructura prácticamente en su totalidad. Sin embargo, en zonas con filtraciones de agua que requerían de mayor resistencia, se reforzó con planchas de hierro forjado remachadas entre sí. En total, un millón de toneladas de hormigón y más de 750 000 planchas fueron utilizadas para aislar por completo la obra de los agentes externos y evitar complicaciones posteriores causadas por la presión ejercida por el lecho marino.

La energía necesaria para mover los trenes viene provista a través de una red de catenarias en el interior de los túneles con una potencia eléctrica de 25 000 voltios. Esta red eléctrica está dividida en distintas secciones, como se aprecia en la figura 2, y fue diseñada para poder ser proporcionada bien desde el lado inglés o bien desde el lado francés en caso de avería, a través

de subestaciones instaladas en cada país. Además, toda la gestión del alumbrado, protección y detección antincendio, y balización está controlado desde el Centro de Control de Vías (RCC, del inglés *Rail Control Centre*), situado en ambas terminales. Desde este centro se controla también el tráfico de vehículos y los sistemas secundarios y auxiliares.

3. Construcción

Tras rechazar diversos nuevos proyectos y diseños, el año 1987 fue el punto de inflexión para hacer realidad el proyecto del mayor túnel submarino construido hasta el momento. El 29 de julio de ese mismo año, Margaret Thatcher y François Mitterrand, jefes de estado de sus respectivos países, ratificaron el Tratado de Canterbury por el que se concedía la construcción del *EuroTunnel* a una empresa privada de construcción formada por un consorcio franco-británico. Tan sólo cuatro meses y medio más tarde, el 15 de diciembre, se iniciaban las obras en el lado inglés, pero habría que esperar hasta el 28 de febrero de 1988 para que empezaran en el lado francés.

Durante el desarrollo de la obra, más de 13 000 técnicos, ingenieros, operarios y obreros desempeñaron una impresionante labor para superar las barreras que imponía la comunicación entre dos países y conseguir cumplir los plazos previstos (ICE, s.f.).

Los primeros trabajos de planificación requirieron de la ayuda de geólogos y topógrafos para poder hacer una aproximación a cual sería la mejor traza. En un túnel, a diferencia de una carretera, las obras no se desarrollan sobre un plano, sino sobre un volumen tridimensional. Esto conlleva complicaciones mucho mayores a la hora de proyectar, ya que no se puede referenciar previamente con coordenadas y ángulos. Además, al ser un túnel submarino, se debe excavar en un estrato capaz de impermeabilizarlo para ayudar a evitar problemas de filtraciones. La inestimable ayuda de los geólogos permitió encontrar, al analizar las costas francesas, una capa de dichas características que permitiera resistir la presión y, a su vez, suficientemente compacta para mantenerse durante la excavación. Este estrato geológico conocido como creta², es característico de las costas del sur de Inglaterra y se encuentra situado, como se aprecia en la figura 3, entre

²*Chalk marl*, en inglés (EWP, 2015).

distintas capas de mineral arcilloso y piedra caliza con diversas permeabilidades y densidades.

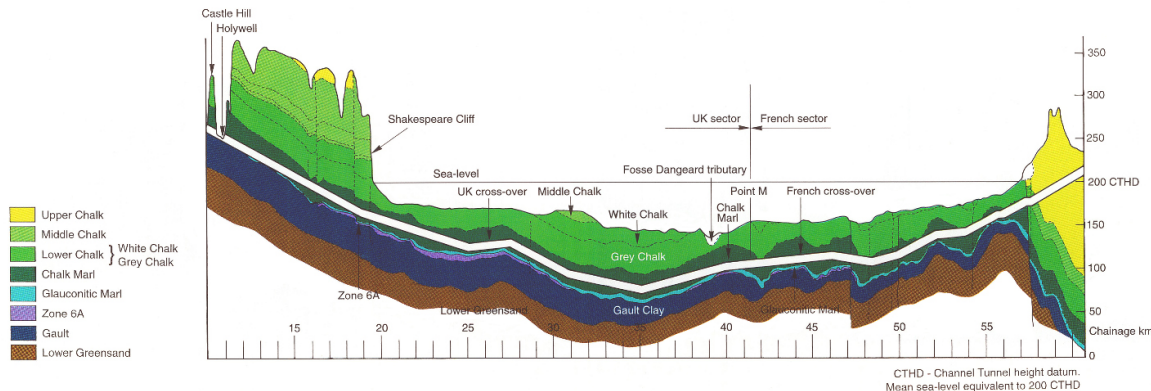


Figura 3: Vista lateral del recorrido esquemático del túnel a través de los diferentes estratos submarinos del Canal de la Mancha (Rankin y Williams, 2012).

Recientes estudios llevados a cabo por Gupta et al. (2017), han descubierto que el hundimiento de las capas de los distintos materiales que se encuentran bajo el canal, fue causado durante el deshielo de la última glaciación, hace más de 400 000 años; proceso durante el cual se aisló Gran Bretaña del resto de continente euroasiático y se creó el canal de la Mancha.

Se puede intuir que la correcta delimitación del recorrido de la capa de creta no era trivial y se debió utilizar avanzada tecnología de detección sísmica para crear un mapa tridimensional del lecho marino. Para ello taladraron doce agujeros bajo el canal en los cuales se introdujeron sondas que emitían ondas de ultrasonido para medir cambios de velocidad en su reflexión y refracción. De esta forma consiguieron trazar un mapa tridimensional del estrato por el cual debería transcurrir el recorrido del túnel. El trazado óptimo de la estructura distó de ser una simple recta, y debió curvarse, tanto hacia arriba y hacia abajo como de izquierda a derecha, de forma sutil para evitar posibles descarrilamientos de los convoyes, además de incomodidades innecesarias para los pasajeros. Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos dedicados y la alta tecnología utilizada, no se pudieron detectar grietas y fallas que permitieron el filtrado del agua y, por ende, causaron grandes complicaciones durante la construcción de los túneles.

Una vez planificado, diseñado y verificado el proyecto, se comenzaron las excavaciones. En cuanto a la perforación de las galerías, se formaron dos equipos distintos, el británico y el francés, que comenzaron las obras cada uno en su lado del canal con la vista puesta en el punto de

encuentro donde debían encontrarse ambas partes. Además, cada grupo utilizó metodologías, protocolos y maquinaria diferente.

La maquinaria utilizada consistió en once tuneladoras (TBM, del inglés Tunneling Boring Machine), seis desde el lado inglés y cinco desde el lado francés, con distintos tamaños y características dependiendo de las previsiones de material a excavar y del túnel para el que estuvieran previstas. Cada una de estas máquinas estuvo diseñada específicamente para este proyecto específico y al acabar su labor fueron desechadas. Las cabezas de las máquinas más pequeñas tenían un diámetro de 5,6 metros y un empuje de 39 227 kN con un par motor máximo de 3 510 781 Nm. Estas fueron las encargadas de realizar las excavaciones para el túnel central auxiliar. Sin embargo, yendo aun más lejos, las tuneladoras de mayores dimensiones, encargadas de los túneles principales, medían 8,8 metros de diámetro con 19 613 kN de empuje y 12 748 645 Nm de par máximo y con un peso total de más de mil toneladas (Jacobs y Kennedy, 1989). En total, más de 200 metros y 12 000 toneladas de TBMs crearon el primer vínculo terrestre entre Reino Unido y Francia de la historia.

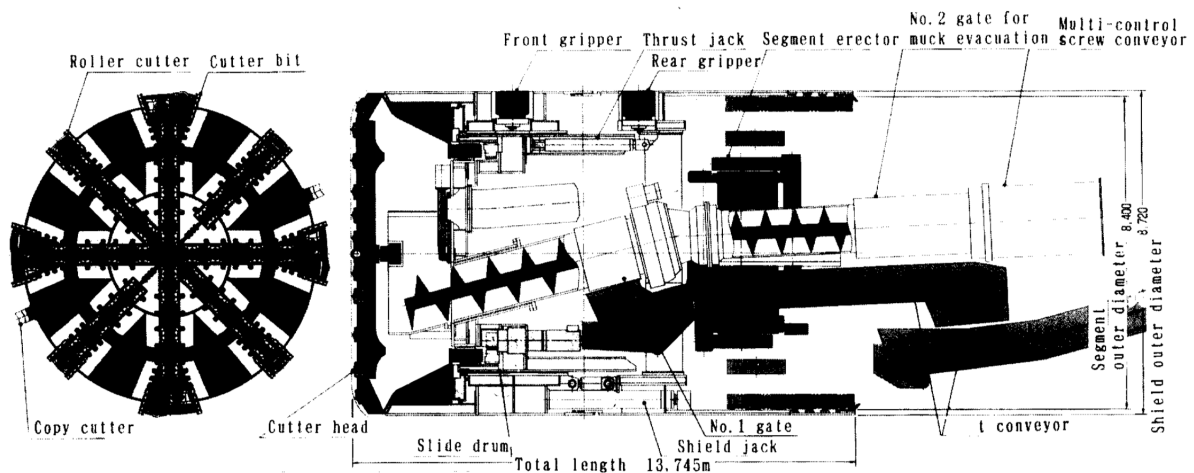


Figura 4: Esquema de las secciones frontal y axial de la Kawasaki T2; una de las tuneladoras del equipo francés (Uga, 1995).

Los mayores problemas encontrados durante la perforación, se debieron a las distintas características de las máquinas utilizadas en un país y en otro. Si bien las tuneladoras francesas fueron solicitadas como EPBM³, para resistir hasta 10 bares de presión hidráulica debido a las previ-

³Del inglés, *Earth Pressure Balance Machine*, podría traducirse como máquina de equilibrio de presiones

siones de filtraciones existentes en las costas del norte del país; las inglesas fueron importadas como *Double Shielded TBM*, las cuales tienen una mayor velocidad, pero no están preparadas para resistir la presión hidráulica. El motivo de esta decisión fue la mayor distancia a excavar por el equipo inglés hasta la frontera, y la escasa predicción de masas de agua.

Una vez superadas las zonas más inundadas de las proyecciones, las máquinas comenzaron a trabajar con total normalidad, como estaba previsto desde un principio, con lo que consiguieron batir diversos récords de velocidad de tunelación que aún siguen en activo hoy en día, entre los que se encuentran la mayor distancia en un solo día (75,5 m), en una sola semana (428 m), y en un solo mes (1 719 m) (Home, s.f.).

Otro de los problemas que se les presentó, fue la forma de manejar la gran cantidad de material que extraían diariamente⁴ y que se obtenía tras el paso de la maquinaria, como se puede observar en la figura 4. Los franceses idearon un sistema de pulverización de la roca y mezclado con agua, que bombeaban hasta una presa cercana a las costas, especialmente construida para el proyecto. En cambio, los ingleses, debido a lo escarpado de sus territorios y a la escasez de tierras, utilizaron el material extraído para extender sus costas frente a la construcción del túnel y edificar allí sus oficinas de control.

Además, uno de los mayores temores que se les presentaba a los ingenieros y constructoras, era que tras realizar la perforación del túnel por ambos lados, no se intersectarán entre ellos o existiera un elevado error. En este caso, se hubieran debido hacer rectificaciones de última hora en el trazado, con los problemas que ello conlleva: mayor coste y tiempo del proyecto, altas curvaturas en el recorrido y, en consecuencia, reducción de la velocidad de diseño para los trenes, riesgo de colapso, etc.

Con tal de evitar que el desvío de las máquinas tuneladoras durante el proceso de excavado fuese crítico para la conclusión del proyecto, se utilizó un sistema de guía láser similar al utilizado durante la construcción de carreteras en la superficie. Sin embargo, éste, en lugar de buscar referencias frontales se basaba en referencias traseras, ya que al avanzar frente a una pared de

terrestres. Consiste en un diseño preparado reducir la fricción al mínimo y para evitar el hundimiento de cualquier capa superior. Habitualmente se utiliza en la construcción bajo ciudades.

⁴16 millones de metros cúbicos fueron excavados durante la construcción (Vandebrouck, 1995).

roca no es posible discernir el trayecto correcto. Con ello, mediante la observación del canal excavado, y a través de sistemas de ángulos y distancias, el ordenador de la tuneladora calculaba la posición exacta donde se encontraba y la comparaba con la esperada según las proyecciones iniciales para así corregir su trayectoria. De esta forma, se obtuvo una impresionante exactitud entre ambos equipos, acabando con un error final de 35 centímetros (Vandebrouck, 1995); tan sólo un 6,25 % de error referenciado sobre los 6,8 metros de diámetro de las máquinas y totalmente despreciable al compararlo con los más de 50 kilómetros de longitud del túnel.

Finalmente, todos los problemas fueron resueltos y, el 1 de diciembre de 1990, a las 12:12 CET, ambos equipos consiguieron completar la primera excavación bajo el Canal del la Mancha, y conectando nuevamente las islas con la Europa continental. Este momento quedó inmortalizado con el famoso estrechamiento de manos que podemos ver en la figura 5, en la cual los ingenieros encargados de cada equipo intercambiaron banderas como símbolo de reunificación.



Figura 5: Imagen del momento del encuentro entre ambos equipos de tunelación (Wallis, 2010).

4. Impacto Socioeconómico

En cifras, el precio final del proyecto fue de más de 10 mil millones de euros⁵. Sin embargo, gracias a esta infraestructura, más de 13 mil millones de euros de fruta fresca viajan al año por el túnel, además de ser la vía de importación y exportación de un 26% de los bienes que cruzan desde o hacia el Reino Unido, representando un valor de más de 150 mil millones de euros (Eurotunnel, 2018).

Por su parte, durante la construcción de este proyecto, se crearon más 13 000 puestos de trabajo y actualmente da empleo, a través de la empresa Eurotunnel, a más de 4 000 personas en la gestión y el buen funcionamiento del sistema. Además, permite la conexión entre el Reino Unido y Europa en cualquier situación meteorológica y reduce los tiempos de viaje desde Londres a otras capitales Europeas hasta una tercera parte (ICE, s.f.).

5. Conclusión

El túnel del canal de la Mancha, además de ser uno de los proyectos más ambiciosos llevados a cabo por el hombre, en el cual se debió utilizar la tecnología más puntera y los mayores avances en ingeniería hasta el momento, es también un símbolo de la UE. En él dos países fueron capaces de dialogar y superar sus diferencias para unir fuerzas en un proyecto común que beneficia a ambos así como al resto de países de la comunidad europea (CEE/UE, en su momento).

A través de esta infraestructura, se abre una nueva vía al transporte intercomunitario y se demuestra que, como escribió el historiador romano Salustio en su obra *La Guerra de Jugurta*, “Concordia res parvae crescunt”⁶; es decir, que el esfuerzo realizado en forma colectiva, uniendo las individualidades en busca de un objetivo común ayuda a obtener beneficios mayores.

⁵ 10 500 millones de euros (70 mil millones de francos) según Janberg (s.f.) y 13 400 millones (12 mil millones de libras esterlinas, según ICE (s.f.).

⁶ Traducido del latín al español: “Cosas pequeñas florecen en la concordia”

Referencias

- Allen, L. (1993). *The channel tunnel – a case study* (Inf. Téc.). Fort McNair, Washington, D.C.: The Industrial College of the Army Forces.
- Carvel, R. (2010, Marzo). Fire dynamics during the channel tunnel fires. En *Fourth international symposium on tunnel safety and security*. Frankfurt am Main, Germany: University of Edinburgh.
- Eurotunnel. (2018, Julio). *Eurotunnel: A wonder of the modern world*. Recuperado el 22 de diciembre de 2018, de: <https://www.eurotunnel.com/build>. Eurotunnel Le Shuttle.
- EWP. (2015, Marzo). *Euro tunnel (the chunnel)*. Recuperado el 01 de enero de 2019, de: http://www.wermac.org/civil_eng/eurotunnel.html. Werner Sölken.
- Gammell, H. (1883, Febrero). *Shall we have a channel tunnel?* A. Brown and Co.
- Getlink. (s.f.). *The channel tunnel infrastructure*. Recuperado el 30 de diciembre de 2018, de: <https://www.getlinkgroup.com/uk/the-channel-tunnel/infrastructure>. Getlink Group.
- Gupta, S., Collier, J. S., Garcia-Moreno, D., Oggioni, F., Trentesaux, A., Vanneste, K., ... Arthur, J. C. R. (2017, Abril). Two-stage opening of the dover strait and the origin of island britain. *Nature Communications*, 8. Descargado de <https://doi.org/10.1038/ncomms15101>
- Home, L. (s.f.). *The channel tunnel*. Recuperado el 03 de enero de 2019, de: <http://www.therobbinscompany.com/projects/the-channel-tunnel>. The Robbins Company.
- Hooley, T. (2017, 04). Fog in the channel – continent cut off: the implications of brexit for career guidance in the uk. *Journal of the National Institute for Career Education and Counselling*, 38, 21-27. doi: 10.20856/jniccc.3804
- ICE. (s.f.). *The channel tunnel*. Recuperado el 28 de diciembre de 2018, de: <https://www.ice.org.uk/what-is-civil-engineering/what-do-civil-engineers-do/the-channel-tunnel>. Institution of Civil Engineers.

- Jacobs, J. M., y Kennedy, E. (1989, Enero). *Challenges, solutions, and reality in tbms for the english channel tunnels*. Recuperado el 03 de enero de 2019, de: http://www.therobbinscompany.com/wp-content/uploads/2010/09/ChannelTunnel_RETC_1989.pdf. The Robbins Company, Inc. and Dillingham Construction NA, Inc.
- Janberg, N. (s.f.). *Channel tunnel*. Recuperado el 30 de diciembre de 2018, de: <https://structurae.net/structures/channel-tunnel>. Structurae.
- McKey, J. (2010, Junio). *Services - eurotunnel*. Recuperado el 30 de diciembre de 2018, de: http://www.4rail.net/ref_services_eurotunnel.php. 4Rail Railroad Reference.
- Rankin, B., y Williams, R. (2012). *Channel tunnel*. Recuperado el 30 de diciembre de 2018, de: <https://www.geolsoc.org.uk/GeositesChannelTunnel>. The Geological Society of London.
- Reynolds, P. (2015, Marzo). *Investigation prompts safe fire system review*. Recuperado el 01 de enero de 2019, de: <https://tunneltalk.com/UK-France-26Mar2015-Channel-Tunnel-fire-investigation-to-focus-on-SAFE-station-system.php>. TunnelTalk.
- Uga, Y. (1995, January). The channel tunnel project: Challenge and rewards. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 10(1), 27 - 29. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0886779894000610> doi: [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(94\)00061-O](https://doi.org/10.1016/0886-7798(94)00061-O)
- Vandebrouck, P. (1995, January). The channel tunnel: The dream becomes reality. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 10(1), 17 - 21. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/088677989400059T> doi: [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(94\)00059-T](https://doi.org/10.1016/0886-7798(94)00059-T)
- Wallis, S. (2010, Diciembre). *Channel tunnel handshake of history*. Recuperado el 05 de enero de 2019, de: <https://www.tunneltalk.com/Channel-Tunnel-Dec10-20-years-on.php>. TunnelTalk.