

LA EXCAVACIÓN MECÁNICA DE TÚNELES EN TERRENOS BLANDOS Y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Laureano Cornejo Alvarez

<http://www.nuevatecnologiasymateriales.com>

RESUMEN: Se presentan algunos apuntes históricos en la evolución tecnológica de la humanidad para alcanzar una mayor eficacia en la excavación de rocas y suelos (enfocada a la construcción de túneles). El gran impulso tecnológico se inicia con la Revolución Industrial (sigos XVIII y XIX). El primer escudo circular de Brunel aparece en 1818. En los años 60 se produce un importante desarrollo de los escudos de lodos y de tierras en Japón (IHI, Mitsubshi,...) a los que se suman fabricantes europeos como Wayss Freegtag, Herrenknecht,.. . A comienzos del siglo XXI el uso de los escudos presurizados está ampliamente generalizado.

1.- INTRODUCCIÓN

Desde la noche de los tiempos, el hombre se ha encontrado con la necesidad de utilizar los espacios subterráneos naturales como hábitat de vida.

Las pequeñas sociedades rurales que se fueron formando, principalmente en Egipto y en Mesopotamia (3000 años a. C.) fueron necesitando para su desarrollo, fundamentalmente agrícola, realizar trabajos de canalización del agua para llevarla a las zonas cultivadas y, a la vez, para desecar grandes extensiones de suelos pantanosos. En la ejecución de estas obras, el hombre se enfrentó con la necesidad de excavar tanto materiales rocosos duros, como materiales arcillosos blandos.

2.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La Humanidad a lo largo de su evolución, ha ido desarrollando y utilizando, de acuerdo a su nivel de desarrollo, diferentes técnicas de eficacia creciente en la excavación de rocas y suelos.

En esta evolución tecnológica ocupan un lugar destacado determinados avances tecnológicos como:

- **SIGLO VIII.** *El descubrimiento de la pólvora negra* (atribuida a los árabes)
- **1690.** Generalización del uso de la pólvora negra para usos civiles hasta la mitad del siglo XIX
- **1814.** *Primera locomotora de vapor* (Stephenson)
- **1844.** *Primeros martillos perforadores de aire comprimido* (Brunton)
- **1847.** *Descubrimiento de la nitroglicerina* (Sobrero)
- **1861.** *Utilización de martillos perforadores* en el túnel de Mont Cenis (12,8 Km.)
- **1875.** Descubrimiento de la *dinamita* gelatina (Alfred Nobel)

Paralelamente a estos descubrimientos se produce, durante el siglo XIX, en los Estados Unidos y en Europa, la Revolución Industrial, ya iniciada en el siglo XVIII en Inglaterra, que es a su vez una revolución tecnológica y científica.

- **1818.** En este ambiente propicio aparece la primera patente de M.I. Brunel de un *escudo circular* revestido con dovelas de fundición empernadas que se utilizó en el primer túnel bajo el río Támesis en Londres, (Tabla 1). Por tratarse de un túnel subfluvial construido en terrenos blandos, su construcción entrañó múltiples problemas derivados de la inestabilidad del frente y de la inundación del túnel como consecuencia de la filtración del agua del río Támesis a través del terreno circundante.

Quedaba así planteada la dificultad técnica de construir túneles en terrenos blandos bajo presión hidrostática.

Durante la construcción del primer túnel bajo el Támesis, se piensa en utilizar el aire comprimido para contrarrestar la presión hidrostática e impedir las filtraciones de agua (Colladon-1818, Lord Cochrane-1831).

A partir de la construcción del primer escudo, se promueve un desarrollo tecnológico tendente a conseguir un escudo que permita la excavación de túneles en terrenos inestables bajo presión hidrostática.

La evolución histórica de los escudos presurizados se resume en la Tabla 1. Sus hitos más importantes son:

- **1874,** J.H. Greathead diseña *el primer escudo que utiliza aire comprimido* como fluido estabilizador del frente; este escudo no se llegó a utilizar.
- **1879,** De Witt Haskins utiliza por primera vez el aire comprimido a 2,4 bar en la construcción del túnel bajo el río Hudson, en New York y del túnel Antwerp Docks utilizando dovelas de fundición.

Tabla 1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS

AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	TIPO DE MAQUINA	PROYECTO	OBSERVACIONES
1818	M.I. Brunel	Escudo circular, revestimiento con dovelas de fundición	1er. Túnel bajo el Támesis	Problemas técnicos, entradas de agua en el túnel
1828	Colladon			Propone el uso de aire comprimido en lugar del escudo de Brunel. Aun no se conocen bien las propiedades del aire comprimido
1831	Lord Cochrane			En su patente, propone utilizar el aire comprimido para estabilizar el frente
1861		Utilización de las perforadoras de aire comprimido	Túnel de Mont Cenis (12,8 Km.)	
1864	P.W. Barlow			Patenta la inyección del espacio anular entre terreno y dovela
1874	J.H. Greathead			Propone transportar los productos excavados hidráulicamente convirtiéndolos previamente en lodos
1874	J.H. Greathead	Diseña un escudo que utiliza aire comprimido para estabilizar el frente en su parte superior		No llegó a utilizarse
1874	H. Lorenz			Propone estabilizar el frente de excavación aplicando, a presión sobre éste, una mezcla de bentonita y agua

Tabla 1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS

AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	TIPO DE MAQUINA	PROYECTO	OBSERVACIONES
1879	De Witt Haskins		Túnel bajo el río Hudson. New York	Primera utilización del aire comprimido sin escudo. Sección de 5,5 m. x 4,9 m. de seccion. Presión de aire: 2,4 bar. Pérdida de aire a través de los limos de la zona superior.
1879	De Witt Haskins		Túnel, Antwerp Docks	Primera utilización del aire comprimido sin escudo. Sección de 1,5 m. x 1,20 m. Dovelas de fundición.
1959/60	C. Gardner	Escudo de lodos "Teredo"		
Años 60		Desarrollo de las modernas máquinas de ataque puntual, rozadoras		
1961	Campeon Bernard	Escudo con cámara delantera presurizada con aire comprimido		El personal no trabaja en atmósfera presurizada
1963	Sato Kogyo Company	Primer diseño de escudo de tierras (EPB)		
1964	Robbins Company	Escudo de cabeza giratoria en forma de estrella de 10,30 m. de diámetro con cámara delantera presurizada con aire comprimido	Metro de Paris	El personal no trabaja en atmósfera presurizada
1965		Escudo de lodos máquina parcialmente presurizada	Proyecto de investigación	
1966	Ishikawajima-Harima Heavy Industri Co. Ltd. (IHI)	Construye el primer escudo de tierras (EPB). Escudo prototipo		
1967	Kajima-Kensetu	Escudo de lodos prototipo	Construido y probado	
1967	Markham	Escudo de frente presurizado con agua, hasta 3 bar, que se mezcla con los limos excavados	Túneles de desagüe en limos bajo la ciudad de México con un diámetro de 6 m.	La primera máquina comenzó a perforar en 1969, se paralizó la obra. La segunda máquina comenzó a perforar en 1970; a los 40 m. de avance, quedó atrapada y abandonada.
1970	Mitsubishi Heavy Industries	Escudo de lodos de 7,29 m. de diámetro	Túneles ferroviarios en la bahía de Tokio	Comienza la fabricación en serie de los escudos de lodos (SS)
1971	Robert L. Priestley Ltd.	Escudo experimental de lodos de 4,10 m. de diámetro con una presión máxima de 2 bar.		
1974	Wayss and Freytag. Aktiengesellschaft	Se construye el 1er. Hidroescudo (hydroschild) de 4,80 m. de diámetro	Túnel colector de Hamburgo en 4,6 Km.	Arenas y gravas bajo presión hidrostática de 1,6 bar.

Tabla 1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS

AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	TIPO DE MAQUINA	PROYECTO	OBSERVACIONES
1981	Mitsubishi	Primer escudo de tierras articulado de 3,68 m. de diámetro		
1984	Kawasaki	Escudo de lodos para excavar en suelos con presión hidrostática y en rocas		
1984	IHI	Primer escudo de sección rectangular		
1985	Wayss and Freytag. Herrenknecht	Escudo mixto (Mixchield)	Proyecto HERA, Hamburgo, 6,3 Km. y 5,95 m. de diámetro. Suelos arenosos de grano fino y medio con guijarros	Presión hidrostática: 1,2 bar. Rendimientos: 18 m./dia.; 6 m./dia en presencia de guijarros
1985	Mitsubishi Heavy Industries	Primer escudo de tierras para excavar también en roca		
1987	Kawasaki	Escudo de lodos multicircular de dos cabezas con solape parcial con configuración horizontal.	Túnel ferroviario de doble dirección en Tokio.	
1987	IHI	Primer escudo de lodos de doble cabeza circular (DOT)		
1988	IHI	Escudo de lodos articulado diseñado para excavar túneles inclinados y curvos de 5,24 m. de diámetro	Túnel de conducción eléctrica Tokuichikansen	Longitud: 2395 m. Inclinación: 15°. Radio mínimo: 20 m.
1989	Herrenknecht AG	Escudo de lodos mixto convertible. Roca/suelo. Diámetro: 11,60 con cabeza retráctil (600 mm.)	Túnel ferroviario de Grauholz, Berna, de 5,5 Km.	
1989	Herrenknecht AG	Escudo mixto de lodos articulado y convertible suelo/roca de 11,60 m. de diámetro	Túnel ferroviario de Grauholz, Berna, de 5 Km.	Innovaciones: -Machaca la roca central. -Cabeza retráctil. -Planta de tratamiento primario de la bentonita situada dentro del túnel
1990	Kawasaki	Inicio del desarrollo de escudos de varias cabezas		
1992	Herrenknecht AG	Escudo de lodos mixto convertible. Tierras/lodos. Diámetro: 8,30 con microescudo central independiente de 1,20 m. de diámetro.	Metro de Essen; longitud 2x2,1 Km.	

Tabla 1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS

AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	TIPO DE MAQUINA	PROYECTO	OBSERVACIONES
1992	IHI	Primer escudo de tierras con soporte giratorio de la cabeda (rotating shield technology)	Túnel colector bajo el río Kannon en la ciudad de Kawasaki	Terrenos arcillosos
1993	IHI	Diseño y construcción de escudos de tierras. Diseños: NOMST y DPLEX		NOMST. DPLX, para excavar secciones rectangulares u ovales
1994	IHI	Escudo de lodos Método "nesting parent-shield"	Teito Rapid Transit Autohority Subway Línea nº 7	Escudo de 14,18 m. y 9,70 m. de diámetro
1994	IHI	Método "Kurun"	Túnel colector Nippa-Sueho de 4435 m. y 9,45 m. de diámetro	Para excavar túneles largos y profundos con fuerte presión hidrostática
1994	IHI	Método "Derun"		Para realizar perforaciones inclinadas o verticales desde un túnel existente
1994	Mitsubishi Heavy Industries	Escudo de lodos de tres cabezas circulares de 17,44 m. x 8,85 m.	Estación de Lidabashi. Línea 12. Metro de Tokio	Presión hidrostática: 5 bar. Arenas y gravas con aguas artesianas. Arcillas
1994	Kawasaki	Escudo de lodos multicircular de tres cabezas	Estación de Lidabashi en Tokio	Anchura total de excavación: 17,440 m. Altura: 8,84 m.
1995	IHI	Escudo de tierras con inyección de lodos de alto rendimiento; diámetro: 5,81 m.	Túnel hidráulico de Kasunigaura	Rendimiento: 20 m./día, excavación y colocación de dovelas simultáneamente
1995	Kawasaki	Escudo de lodos "parent-schild"	Túnel de cables Takai-Matsubara. Bashi, Tokio	Túnel principal: 7,27 m. de diámetro Túnel secundario: 5,00 m. de diámetro
1996	Mitsubishi Heavy Industries	Escudo de cabezas circulares múltiples de lodos o de tierras		
1996	IHI	Multimicroescudo de tierras de cabezas circulares (MMST)		Para excavaciones rectangulares de grandes dimensiones
1996	Kawasaki	Escudo multicircular de lodos, desmontable con tres cabezas	Metro de Tokio. Línea 7	Ancho: 15,84 m. Alto: 10,04 m.
1997	Kawasaki	Escudo articulado de lodos con cabezas múltiples (multi-micro-shield) MMSST	Conducto de ventilación para el túnel carretero bajo la bahía de Tokio	
1997	Kawasaki	escudo de lodos "Twister" de cabezas circulares adosadas		Escudos contiguos deslizantes de posición relativa variable.
1997-1998	Kawasaki	Escudo de lodos multicircular de cuatro cabezas	Metro de Tokio, línea 12. Estación Roppongi	Ancho: 13,18 m. Alto: 7,06 m.

Paralelamente, al uso del aire comprimido, se estudian otras técnicas de estabilización del frente:

- **1874.** H. Lorenz *propone utilizar un lodo bentonítico a presión* contra el frente de excavación.
- **1896.** H.H. Dlarymple-Hay utilizan por primera vez *la arcilla para estabilizar el frente en terrenos no cohesivos*. Esta idea es considerada como la precursora del diseño de los escudos de tierras muy posteriormente desarrolladas principalmente en Japón.

Desde finales del Siglo XIX hasta rebasada la mitad del Siglo XX (1959-1960), el desarrollo de escudos presurizados, sufrió un importante parón de más de 70 años. A partir de esta fecha vuelve a prestarse atención a nuevos diseños de escudos, aplicándose en ellos los nuevos adelantos tecnológicos.

- **1959-1960.** Se produce un salto tecnológico en el diseño y construcción de los escudos presurizados realizándose la *construcción del escudo de lodos "Teredo"* diseñado por C. Gardner que se utilizó en la excavación de un túnel en la ciudad de Houston, Texas.
- **1963.** Sin embargo, el mayor avance tecnológico en el diseño y construcción de los escudos presurizados se produce en Japón a partir del año 1963. Las técnicas japonesas desarrollan, casi al mismo tiempo, los métodos de estabilización del frente mediante lodos bentoníticos aplicados a presión contra el frente, técnica utilizada en los escudos de lodos (slurry shield) y mediante la presión ejercida por los propios materiales excavados contra el frente con un confinamiento mecánico de los mismos y la evacuación controlada de la cámara de trabajo de los mismos, técnica utilizada en los escudos de tierras (Earth Pressure Balanced shield).
- **1966.** La firma Ishikawajima-Harina Heavy Industry Co. Ltd. (IHI), construye el *primer escudo de tierras (EPB) en fase experimental*.
- **1967.** La firma Kajima-Kensetu construye y prueba un *escudo prototipo de lodos (SS)*.
- **1970.** Inicia la *fabricación en serie de los escudos de lodos* la firma Mitsubishi Heavy Industries.
- **1984/1998.** Se produce el mayor incremento en *la fabricación de los escudos de tierra en Japón* con 332 escudos fabricados.

Simultáneamente con el desarrollo japonés, se inicia en Europa, con una menor fuerza, la construcción de escudos presurizados, siendo los hitos más importantes:

- **1967.** La firma británica Markham construye un escudo de lodos producidos por la mezcla de los materiales excavados con agua a una presión de 3 bares. Dos de estas máquinas llegaron a trabajar en los túneles de desagüe de la ciudad de México.
- **1971.** La firma británica R.L. Priestley construye un escudo experimental de lodos trabajando a una presión de 2 bar.

Sin embargo, la verdadera irrupción de la tecnología europea en la construcción de escudos presurizados, se produce en el año 1974.

- **1974.** La firma alemana Wayss Freytag Aktiengesellschaft, construye el *primer hidroescudo (hydroshield)* que se utilizó con éxito en un colector de Hamburgo.

- **1985.** Las firmas alemanas Wayss-Freytag/Herrenknecht *construyen el primer escudo mixto (Mixshield)*. El escudo mixto representa una importante aportación al incorporar en su diseño todas las técnicas disponibles (aire comprimido, lodos y las propias tierras excavadas).
- **1989.** La firma Herrenknecht, siguiendo los desarrollos del escudo mixto, construye el *primer escudo convertible* que puede trabajar en las distintas modalidades como escudo de tierras, escudo de lodos, escudo de aire comprimido y como tuneladora de roca. Se trata de un escudo muy versátil que permite, con pequeñas modificaciones que se realizan en el propio túnel, cambiar de un modo de funcionamiento a otro. **(Figura 1)**.



Figura 1. ESCUDO TIPO MIXSHIELD. 4º TÚNEL DEL ELBA

- **Finales de los años 80.** En los países industrializados y en Europa en particular, se produce un incremento del número de proyectos en medio urbano relacionados principalmente, con la construcción de las redes de Metro en las ciudades de más de un millón de habitantes. En la **Tabla 2**, se relacionan algunos de los proyectos más importantes ya realizados o en fase de realización.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años									
PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de Toronto. Canada. Ampliación RTEP. Rapid Transit Expansion Program	2 x 3,2 Km. Túneles paralelos	5.9	5.65	5.2	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	LOVAT	10/97-1999	Uso de espumas.
Nuevo túnel ferroviario bajo el río St. Clair, Canada/USA.	1.824 m	9.52	9.15	8.395	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	LOVAT	11/93-12/94	
Túnel carretero de circunvalación Nishi-Shinjuku, Tokio, Japón	2 x 3 Km. Túneles paralelos	13.23	13	11.9	ESCUDO DE LODOS (SS)	1			
Túneles ferroviarios paralelos bajo el Támesis, Londres	2 x 1,1 km	5.9	5.7	5.2	ESCUDO DE LODOS (SS)	1	KAWASAKI	6/97-6/98	Pendiente 6% atraviesan el Támesis y pasan bajo edificios históricos.
Metro de Valencia, España. Línea 5. Túneles paralelos de vía única	2 x 2,3 km	6.52	6.35		ESCUDO DE TIERRAS + INYECCION ESPUMAS (EPM+FOAM)	1	HERRENKNECHT	11/94-1997	
Túnel de Versailles. Anillo de circunvalación de Paris, de la Autopista A-86. Proyecto SOCATOP.	10 km	11.565	11.26	10.4	ESCUDO CONVERTIBLE TRIMODAL SS/EPB/OPEN	1	HERRENKNECHT	2000	Pendiente 4,5% El escudo se ha diseñado para soportar una presión de 6 bar.
Túneles ferroviarios bitubo de Botlek, Rotterdam, Holanda	2 x 1,835 km	9.75	9.45	8.65	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	HERRENKNECHT	7/99-2001	Los túneles discurren bajo conducciones de cables y tuberías y pasan bajo el río Oude Maas, bajo el ferrocarril del puerto y bajo una carretera.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Túneles ferroviarios en Berlín, Alemania.	4 (795 m + 574)	8.93	-		ESCUDO DE LODOS (SS)	2	HERRENKNECHT		
Túneles carreteros bitubo de Westerschelde, Holanda.	6,5 km	11.33	11	10.1	ESCUDO DE LODOS (SS)	2	HERRENKNECHT	verano del 1999-2001	Pendiente máx. 4,5%
Túnel carretero de Adler, Suiza	-	12.53	-		ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	HERRENKNECHT		
Túnel colector de Hasting, Inglaterra.	1,6 km	7.36	-		ESCUDO DE LODOS (SS)	1	HERRENKNECHT		
Metro de Izmir, Turquía.	2,7 km	6.5	-		ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	HERRENKNECHT		
Metro de Londres. Jubilee line extension									
Contrato 105	2x2,8 km	5.2	5	4.5	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	4	KAWASAKI/FCB/DECON	12/94-7/96	
Contrato 107	2x2,19 km	5.13	5	4.5	ESCUDO MIXTO DE LODOS MIXSCHIELD (SS)	2	HERRENKNECHT	3/95-5/96	
Contrato 110	2x2,5 km	5.2	5	4.5	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	LOVAT	8/94-11/95	

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de Bangkok, Tailandia. "Blueline" 1ª Fase	2x10	6.5	6.3	5.7	ESCUDO BIMODAL DE TIERRAS CON INYECCIÓN POSIBLE DE LODOS (EPB+SI)	6	KAWASAKI	4/1999 - 8/2002	
Metro de Bangkok, Tailandia. "Blueline" MRTA 2ª Fase	2x10					2	HERRENKNECHT	7/99-6/2001	
Metro de Berlín, Alemania. Prolongación de la Línea 5. Túnel nº 1	2x480 m	6.67	6.45	5.75	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	3/97-12/98	
Metro de Berlín, Alemania. Prolongación de la Línea 5. Túnel nº 2	2x498 m	6.67	6.45	5.57	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	3/97-12/98	
Metro de Lille, Francia Línea 1bis lote 3	3263 m	7.68		6.8	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	1996-1998	Se han usado 4 escudos de lodos.
Metro de Lille, Francia Línea 2, lote 3	3434 m	7.68		6.8	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	FCB/KAWASAKI	7/94-1996	Se han usado 3 escudos de tierras con inyección de espuma.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años									
PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de Lille, Francia Línea 2, lote 2	2099,6 m	7.68	7.5	6.8	ESCUDO DE LODOS (SS)	1	FCB/KAWASAKI	12/94-1996	7% 6,8% pendiente
Metro de Lille, Francia Línea 2, Lote 1	3735 m	7.68	7.5	6.8	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	FCB/KAWASAKI	7/94-1996	
Metro de Lyon, Francia Línea D subfluvial tubo 1/ tubo 2	2X1250	6.5	5.9	5.3	HIDROESCUDO HYDROSHIELD	1	HERRENKNECHT	7/1984-1987	Se excavó un túnel subfluvial bajo los ríos Rodano y Saona con un hidroescudo y bajo edificios. Pendiente máx. 6%. Bloques de granito errático de 1,5m. Hormigón extruído. Presencia sistemática de bloques.
Metro de Lyon, Francia Línea D prolongación tubo 1 / tubo 2	2x947	6.27	6	5.3	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	1993/1994	
Metro automático, Paris, Francia Proyecto "Meteor"	4,5 km	8.6			ESCUDO DE LODOS (SS)	1	HDW HOWALDTSWERKE DEUSTCHE-WERFT	1992-1996	Atraviesa el centro de Paris.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Túnel ferroviario Zurich-Thalwil, Suiza. Proyecto Bahn 2000. Doble vía. Lote 2.01	2,62 km	12.39			ESCUDO CONVERTIBLE BIVALENTE ESCUDO DE LODOS/ TUNELADORA DE ROCA. MIXTCHIELD CONVERTIBLE (TBM/SS)	1	HERRENKNECHT	6/98-2002 (previsto)	0,85km en suelos trabajando como escudo de lodos. 1,8km en roca molasa trabajando como tuneladora.
Metro de Lisboa, Portugal. Prolongación L-D. Túnel ferroviario de doble vía.	2094 m	9.84	9.52	8.8	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	HERRENKNECHT	25/3/1996-10/12/1997	
Metro de Shanghai, China. L2. Túnel ferroviario vía simple. Proyecto MRT.		6.34	6.2	5.5	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	10			
Autopista bajo la bahía de Tokio, Japón.	2x4,6 km	14.14	13.9	12,6 (primer revestimiento)	ESCUDO DE LODOS (SS)	2	KAWASAKI	8/1994-8/1996	
	2x4,8 km	14.14	13.9	11,9 (segundo revestimiento)	ESCUDO DE LODOS (SS)	2	MITSUBISHI	8/1994-8/1996	
Metro de Roma, Italia. Prolongación Línea-A. Túnel de vía doble	920 m	10.64	10.3	9.4	HIDROESCUDO (SS)	1	VOEST ALPINE	7/1994-3/1995	
Metro de Roma, Italia. Prolongación Línea-A. Túnel de vía única	3090 m	6.6	6.4	5.8		1			

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro automático de Lyon, prolongación Línea-D. Francia. Dos tubos de vía única. Tubo 1	904 m	6.27	6	5.3	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	7/1993-3/95	
Metro automático de Lyon, prolongación Línea-D. Francia. Dos tubos de vía única. Tubo 2	890 m	6.27	6	5.3	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	7/1993-3/95	
Metro de Sydney. Australia. Túnel ferroviario	5,9 km	10.72	10.42	9.52	ESCUDO CONVERTIBLE TBM/SS	1	HERRENKNECHT	22/12/96-22/05/99	
Túneles del Sifón de Salaam bajo el Canal de Suez, Egipto.	4x650	6.6	6.2	5,7 (primer revestimiento) 5,1 (segundo revestimiento)	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	29/6/95-28/5/97	
Túnel emisario submarino bajo la bahía de San Diego, California, EEUU.	5,63km+accesos	3.9	3.86	3.4	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	MITSUBISHI-BORETEC	2/97-3/98	Acondicionamiento del terreno.
Túneles ferroviarios submarinos Store-Baelt o Great Belt, Dinamarca.	2x7,4 km	8.75	8.5	7.7	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	4	HOWDEN / MES / WIRTH	11/90-4/99	
Pasante ferroviario de Milán, Italia, de vía única. Tubo 1	2054 m	8.03	7.5	6.9	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)		NFM/MITSUBISHI	3/9/92-7/9/93	
Pasante ferroviario de Milán, Italia, de vía única. Tubo 2	1950 m	8.03	7.5	6.9	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)		NFM/MITSUBISHI	26/1/94-11/9/94	

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de Madrid, España. Ampliación T-1. Línea 10: Lago-Príncipe Pío. Túnel de vía única.	1.640 m	7,40 6,50	-	6,50 - 5,80	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	LOVAT	10/01/1996; 10/09/1996	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-2. Línea 8: Mar de Cristal - Campo de las Naciones.	2.108 m	7,40 6,50	-	6,50 - 5,80	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	LOVAT	24/07/1997; 03/12/1997	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-3. Línea 4: Esperanza - Parque de Santa María.	3.608 m	9.4		8.43	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	MITSUBISHI	26/05/1997, 09/05/1998	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-4. Línea 8: Barajas - Aeropuerto.	1.442 m	9.4		8.43	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	MITSUBISHI	13/10/1998; 10/02/1999	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-5. Línea 8: Feriales - Mar de Cristal.	1.958 m	6.5		6,50 - 5,80	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	HERRENKNECHT	25/08/1997; 10/03/1998	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-6. Línea 9: Polígono Industrial Vicálvaro - Pavones.	3.356 m	9.4		8.43	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	HERRENKNECHT	24/06/1997; 13/08/1998	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-7. Línea 7: Arroyo Fresno - Valdezarza.	3.234 m	9.4		8.43	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	MITSUBISHI	26/04/1997; 09/03/1998	
Metro de Madrid, España. Ampliación T-8. Línea 8: Feriales - Aeropuerto.	4.424 m	9.4		8.43	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	MITSUBISHI	16/07/1998; 26/02/1999	

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de Madrid, España. Ampliación T-9. Línea 7: Valdezarza - Islas Filipinas.	3.468 m	9.4		8.43	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	6	HERRENKNECHT	30/08/1997; 16/09/1998	
Túnel ferroviario de Granholz, Berna, Suiza.	6,3 Km	11.6	11.4	10.6	ESCUDO MIXTO CONVERTIBLE (MIXSHIELD TBM/SS)	1	WAYSS & FREYTAG	1/90-5/93	
4º Túnel carretero del Elba, Hamburgo, Alemania.	2,6 km	14.2	13.75	12.35	ESCUDO MIXTO DE LODOS (MIXSHIELD SS)	1	HERRENKNECHT	27/11/97- 3/2000	Pendiente máxima 3,7%.
Metro de Copenhague, Dinamarca.	2x7,5 km	5.71	5.45	4.9	ESCUDO DE TIERRAS BIMODAL (EPB, open/close)	2	NFM/MITSUBISHI		
Túnel ferroviario bajo el Canal de la Mancha (lado Francés). T-1 Submarino	15,618 km	5.77	5.44	4.8	ESCUDO DE TIERRAS (permite inyección de lodo) (EPB)	1	ROBBINS / KAWASAKI	Marzo 1998/ Octubre 1990	
Túnel ferroviario bajo el Canal de la Mancha (lado Francés). T-2 Submarino	20,009 km	8.78	8.4	7.6	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	ROBBINS / KAWASAKI	Diciembre 1989/ Mayo 1991	
Túnel ferroviario bajo el Canal de la Mancha (lado Francés). T-3 Submarino	18,860 km	8.72	8.4	7.6	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	ROBBINS / KAWASAKI	Abril 1989/ Junio 1991	

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Túnel ferroviario bajo el Canal de la Mancha (lado Francés). T-4 Terrestre	3,162 km	5.61	5.44	4.8	ESCUDO DE TIERRAS (permite inyección de lodos de alta densidad) (EPB)	1	MITSUBISHI/MARUBENI	Julio 1988/ Mayo 1989	
Túnel ferroviario bajo el Canal de la Mancha (lado Francés). T-5 Terrestre	3,265 km	8.64	8.4	7.6	ESCUDO DE TIERRAS (permite inyección de lodos de alta densidad) (EPB)	1	MITSUBISHI/MARUBENI	2/89 - 18/12/89	
Túnel ferroviario bajo el Canal de la Mancha (lado Francés). T-6 Terrestre	3,265 km	8.64	8.4	7.6	ESCUDO DE TIERRAS (permite inyección de lodos de alta densidad) (EPB)	1	MITSUBISHI/MARUBENI	3/90 - 12/90	
Túnel carretero de Caluire, Lyon, Francia.	2x3,25 km	11.02	10.7	9.82	ESCUDO DE TIERRAS CONVERTIBLE BIMODAL; TBM/EPB	1	NFM / MITSUBISHI / BORETEC	1/1994 - 18/10/1996 (Tubo norte) 17/03/1997 - 26/05/1998 (Tubo sur)	Bulevar periférico norte atraviesa el centro de la ciudad. Entrada al frente en régimen hiperbárico, sellado automático del frente antes de aplicar aire comprimido.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de El Cairo, Egipto. Línea 2. Fase 1 doble vía	5,83 km	9.45	9.15	8.35	ESCUDO DE LODOS (SS)	2	HERRENKNECHT	6/7/94-21/5/96	
Túnel colector de Shanghai, China Túnel 1	1422 m			4.2	ESCUDO NO PRESURIZADO + AIRE COMPRIMIDO	1	FCB/KAWASAKI	8/93-10/94	Problemas constructivos; el túnel 1º se inundó de agua y arena; royura de la máquina; presencia de gas metano.
Túnel colector de Shanghai, China Túnel 2	1254 m							11/91 se abandonó-2/95 se reinició-10/96 (terminado).	
Túnel colector de Glatt, Zurich, Suiza.	5,05 km (2,9 km en molasas; 2,15 km en suelos)	5.34	5.04	4.5	ESCUDO CONVERTIBLE TRIMODAL (TBM/EPB/AC)	1	HERRENKNECHT	3/96-6/98	
2º Túnel Heinenoord en Rotterdam, Holanda. Autopista A-29	2x946 m	8.5	8.3	7.6	ESCUDO DE LODOS (MIXSCHILD SS)	1	HERRENKNECHT	2/97-/99	
Túnel colector Sevres-Acheres bajo el Sena, Paris. Lote 4 y 5	3312 m	4.84	4.64	4	ESCUDO DE TIERRAS	1	LOVAT	8/1988 - 21/06/1990	
Túnel colector Sevres-Acheres bajo el Sena, Paris. Lote 3	3550 m	4.05	3.75	3.25	ESCUDO DE LODOS	1	HERRENKNECHT	10/1989 - 7/1991	

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Metro de Singapore. Túneles ferroviarios de la línea Norte-Este del MRT. Mass Rapid Transit. Contrato C703	2X20 KM (TOTAL)	6.44		6.1	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	MITSUBISHI	1989 - 1999	
Metro de Singapore. Túneles ferroviarios de la línea Norte-Este del MRT. Mass Rapid Transit. Contrato C704	2X20 KM (TOTAL)	6.526		6.1	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	LOVAT	1989 - 1999	
Metro de Singapore. Túneles ferroviarios de la línea Norte-Este del MRT. Mass Rapid Transit. Contrato C705	2X20 KM (TOTAL)	6.44		6.1	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	HITACHI/ZOSEN	1989 - 1999	
Metro de Singapore. Túneles ferroviarios de la línea Norte-Este del MRT. Mass Rapid Transit. Contrato C706	2X20 KM (TOTAL)	6.55		6.1	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	HERRENKNECHT	1989 - 1999	
Metro de Singapore. Túneles ferroviarios de la línea Norte-Este del MRT. Mass Rapid Transit. Contrato C708	2X20 KM (TOTAL)	6.48		6.1	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	HITACHI/ZOSEN	1989 - 1999	
Metro de Singapore. Túneles ferroviarios de la línea Norte-Este del MRT. Mass Rapid Transit. Contrato C710	2X20 KM (TOTAL)	6.6		6.1	ESCUDO DE TIERRAS DUAL abieto/cerrado (EPB)	2	ICHIKAWA jIMA-HARINA HEAVY IND.	1989 - 1999	
Túnel de servicio de Nagoya, Japón.	1609 m	3.83	3.7	3.45	ESCUDO DE TIERRAS (EPB) con inyección de lodos.	1		4/94-5/95	Túnel bajo la autopista 41 discurre a través de 25 pilares de la autopista a una distancia de 650mm.
2º Túnel carretero subfluvial en Sanghai, China.	2270,5 m	11.22	11	9.9	ESCUDO DE LODOS (SS)	1	MITSUBISHI	1/96-11/96	Bajo el río Huangpu en un tramo de 500m.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años										
PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES	
Túnel colector de El Cairo, Egipto.	4,0 km			5	ESCUDO DE LODOS (SS)	1	BADE&THEELEN/NEI	1985-1988	Doble revestimiento.	
Contrato 3	1,2 km			1,2-2,8	ESCUDO DE AIRE COMPRIMIDO	1	DECON			
Contrato 12/5A	3,3 km	3.34	3.24	2.87	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	2	LOVAT	verano 1990- final1990	Doble revestimiento el interior de ladrillos resistente a aguas ácidas.	
	3,3 km	2.65	2.55	2.2						
Contrato 12	3,3 km			4	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	OKUMURA/ MARKHAMS	1986-junio 1989		
	0,8 km			1.2	ESCUDO SEMIMECANIZADO CON AIRE COMPRIMIDO	1	JAMES-HOWDEN			
Túneles de drenaje ciudad de Mexico.	5,3 km	4	3.85	3.5	ESCUDO DE LODOS (SS)	2		1984-1986		
Túneles de drenaje ciudad de Mexico.		6.24	6.1	5.6	ESCUDO DE LODOS (SS)		OKUMURA-SOLUM/ICA	1987-1992		
Túnel colector de Naniwa, en Osaka, Japón.	8,5 km	7.75		6.5	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1			Utilización de espuma. El colector puso un túnel de metro.	

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
Túneles ferroviarios bajo el río Yodogawa, Osaka, Japón. Línea JR Tozai	2x2325 m	7.15	7		ESCUDO DE LODOS (SS)	1		1997-1999	Dos túneles paralelos junto a otro túnel de servicio bajo el río y bajo los cimientos de pilotes de un puente.
Pasillo verde ferroviario Madrid, España. Vía 1	1100 m	7.38		e=25cm	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	LOVAT		Pasa bajo edificios (Ronda de Segovia). Pasa bajo otro túnel a 1,5 m de distancia.
Pasillo verde ferroviario Madrid, España. Vía 2	900 m	7.38		e=25cm					
Tren urbano, bajo el río Piedras, San Juan de Puerto Rico. Dos tubos		6.47			ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	LOVAT	1999	Bajo edificios zona sísmica.
MRT Chunggho line CC 560, Taiwan	6,44 km	6.25	6.1	5.6	ESCUDO DE TIERRAS (EPB+FOAM)	3	HERRENKNECHT		
Túneles paralelos de Metro Nonami, en Nagoga, Japón	2x541,35 m	10.48	10.3	8.8	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1		28/2/92-7/93	Bajo una calle importante y bajo el rio TempaKa (100m). Doble revestimiento.
Metro de Berlin, Alemania, 2 tubos	21077	6.6	6.4	5.7	ESCUDO DE LODOS HIDROESCUDO, REDISEÑADO (HYDROSHIELD)	1	VOES-ALPINE	28/9/88-10/89	Paso bajo edificios.
Túneles paralelos carreteros de circunvalación de Lion, Francia	2x3,22 km	11.4	10.52	9.82	ESCUDO DE TIERRAS (EPB)	1	MITSUBISHI/NFM	95/97	Pasa bajo el Saona.

Tabla 2.- Principales proyectos de túneles excavados con escudos presurizados en los últimos años

PROYECTO	LONGITUD	φexc. (m)	φext. (m)	φ int. (m)	TIPO DE ESCUDO	Nº DE ESCUDOS	FABRICANTE	PLAZO	OBSERVACIONES
2º Túnel en la carretera Yan'an East en Shanghai, China	2,27 km	11.22			ESCUDO DE LODOS (SS)	1	MITSUBISHI	nov-96	Bajo el río Huangpu en una longitud de 500 m.
Metro de Copenhague, Dinamarca.	2x7,5 km			4.9	ESCUDO TIERRAS (EPB)	2	NFM	mar-98	

En el entorno del año **1990**, la utilización de los escudos presurizados, se extiende a la excavación de estaciones y a otro tipo de excavaciones como redes de colectores, redes de cables, galerías de servicio, ...

Se pretende abaratar los costes de ejecución de las obras subterráneas, incrementando al mismo tiempo su nivel de seguridad.

Los momentos principales en la reciente evolución de los escudos presurizados durante la última década vienen indicados en la **Tabla 1**; entre éstos podemos destacar :

- **1987.** *Primer escudo de dos cabezas* inbricadas en forma de antejojo, *sistema "DOT"* fabricado por la firma japonesa IHI.
- **1990.-** Se inicia en Japón, el diseño de escudos multicirculares de varias cabezas.
- **1994.-** Las firmas japonesas Mitsubishi y Kawasaki construyen *escudos de tres cabezas circulares* para la construcción de estaciones en el metro de Tokio.
- **1992.** Se inicia en Japón una nueva generación de escudos presurizados que da respuesta a nuevas demandas. Estas nuevas demandas se pueden concretar en:
 - a) Permitir nuevas aplicaciones
 - b) Utilizar un diseño básico de máquina con determinados elementos desmontables o independizables, que permiten extender su campo de aplicación realizando una economía en las inversiones.
 - c) Mejorar la seguridad en terrenos inestables con presión hidrostática.
 - d) Incrementar los rendimientos de excavación y la resistencia al desgaste de los distintos elementos de la máquina. Esta nueva tecnología viene impulsada por la firma japonesa IHI con las siguientes realizaciones.
- **1992.** Construcción de un *escudo con soporte giratorio de la cabeza* (rotating shield technology) (Tabla 1)
- **1993.** Construcción de *escudos de tierras con diseños NOMST y DPLEX.*, (Tabla 1).
- **1994.** Construcción de *escudos "canguro" de lodos* (Nesting parent shield) que permiten realizar excavaciones en ángulo recto o en la misma dirección con distinto diámetro.(**Figura 2**).



Figura 2. ESCUDO NODRIZA (Ø9.50 m.)

- **1994.-** Desarrollo de los escudos “Kurun” y “Derun”, (Tabla 1).
- **1995.** Desarrollo de escudos de tierras, con inyección de lodos o de polímeros, de alto rendimiento, diseñados para simultanear un alto ritmo de avance, con una colocación simultánea del revestimiento.

En el último cuatrienio de este siglo han proliferado diseños de escudos de tierras y lodos de cabezas circulares múltiples que permiten realizar excavaciones rectangulares y excavaciones de contornos de grandes excavaciones posteriores. La configuración de estos escudos se puede adaptar a las necesidades concretas utilizando escudos y microescudos de diferentes diámetros.

Algunas de estas realizaciones son:

- **1996.** Las firmas Mitsubishi y Kawasaki construyen escudos de lodos y tierras de cabezas circulares múltiples. (Figura 3).



Figura 3. ESCUDO DE CABEZA TRIPLE (Ø9.80 m.)

- **1996.** La firma IHI construye un *multimicroescudo* (NMST).
- **1997.** La firma Kawasaki construye *escudos de lodos adosados de cabeza circular "Twister"* que deslizan uno sobre el otro pudiendo adoptar cualquier posición en el espacio.

Finalmente, en la **Tabla 3**, se resumen, en orden cronológico, las técnicas complementarias que han tenido una mayor influencia en el desarrollo tecnológico de los escudos presurizados.

Tabla 3.- REFERENCIA HISTÓRICA DE LA INCORPORACIÓN DE TÉCNICAS IMPORTANTES EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS			
AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	ELEMENTO	OBSERVACIONES
1864	P.W. Barlow	Propone por primera vez rellenar el espacio anular entre el revestimiento y el terreno	
1869-1870	J.H. Greathead	Inventa el diafragma transversal, la esclusa y el erector de dovelas	
1896	H.H. Dalrymple-Hay	Utiliza por primera vez arcilla para estabilizar el frente	Idea precursora del diseño de los escudos de tierras

Tabla 3.- REFERENCIA HISTÓRICA DE LA INCORPORACIÓN DE TÉCNICAS IMPORTANTES EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS			
AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	ELEMENTO	OBSERVACIONES
1973	Tekken Kensetu, Const. Comp. Ltd. y Mitsubishi	Sistema automático de control en los escudos de lodos	
1975	Mitsubishi	Incorporación de un tromel a un escudo de lodos de 3,55 m. de diámetro	Para excavar un túnel hidráulico en gravas en el área metropolitana de Tokio
1976		Inyección de lodos en escudos de tierras	Fase experimental
1979	Mitsubishi	Machacadora incorporada a un escudo de lodos	Excavación de gravas y terrenos con zonas petreas
1980	Mitsubishi	Utilización de discos de corte en escudos de lodos	Para terrenos heterogéneos con tramos rocosos o con fragmentos de roca y/o cantos rodados
1980	Kawasaki	Accionamiento eléctrico en un escudo de lodos	
1980	Kawasaki	Cabeza de escudo de lodos con soporte intermedio	Incrementa la robusted de la cabeza y permite mayores diametros
1981	Kawasaki	Alimentador de tornillo en un escudo de tierras "rotary feeder"	
1981	Kawasaki	sistema de sellado tipo 150 del cojinete central de la cabeza de un escudo	Estanqueidad asegurada hasta una presión de 10 bar.
1981	IHI	Escudo de tierras con inyección de lodos	Efecto lubricante. Efecto acondicionador del suelo con aumento de la impermeabilidad
1982	Kawasaki	Machacadora giratoria de doble cuerpo	Instalada en un escudo de lodos trabajando en gravas para excavar en curva
1982	Kawasaki	Cortadores "copy cutter"	
1983	Kawasaki	Cortadores "over cutter"	
1984	Mitsubishi	Uso de lodos densos en escudos de tierras	Extensión del campo de utilización de los escudos de tierras
1984		Escudo de tierras con inyección de espuma	Fase experimental

Tabla 3.- REFERENCIA HISTÓRICA DE LA INCORPORACIÓN DE TÉCNICAS IMPORTANTES EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LOS ESCUDOS PRESURIZADOS			
AÑO	INVENTOR/ FABRICANTE	ELEMENTO	OBSERVACIONES
1984	Kawasaki	Alimentador de tornillo tipo "ribbon" con descarga giratoria	Para utilización en gravas gruesas
1985	IHI	Sistema automático de erección de dovelas	
1985	Kawasaki	Accionamiento eléctrico en escudos de tierras	
1986	Kawasaki	Escudo de tierras articulado	
1986	Kawasaki	Sistema automático de control en los escudos de tierras	
1986	Kawasaki	Diseño de cabezas en forma de domo	Para excavar en zona de gravas
1987		Uso de polímeros en los escudos de tierras	Fase experimental
1990		Uso de espumas en los escudos de tierra	Efecto lubricante. Efecto acondicionador del suelo aumentando su impermeabilidad
1990	Mitsubishi	Técnica de ensamblado de escudos que avanzan en sentido contrario "docking movable hood"	Utilizado cuando un túnel se acomete con dos escudos avanzando simultáneamente por las dos bocas externas
1993	Nishitake et al	Uso de polimeros y acondicionadores	Extensión del campo de utilización de los escudos de tierras
1994	Reda		
1995	Ishimoto et Al.		

3.- CONCLUSIÓN

La evolución histórica del desarrollo tecnológico aplicado a los escudos presurizados, ha sido continuada desde 1818, aunque en determinados periodos de tiempo este desarrollo tecnológico ha sido más intenso, iniciándose éste en 1963 en Japón; comenzando su consolidación en el año 1970 y alcanzado un primer apogeo entre los años 1984 y 1998.

Paralelamente en Europa, este desarrollo tecnológico se inicia en el 1967, aunque los momentos de un mayor avance tecnológico se produce en los años 1974 (hidroescudo), 1985 (escudo mixto) y 1989 (escudo reversible).

La consolidación del desarrollo tecnológico europeo se produce a partir del año 1985 en la que interviene de un modo muy destacado la firma alemana HERRENKNECHT con la fabricación a gran escala de sus escudos presurizados.

En la última década, a partir del año 1990, el desarrollo tecnológico ha experimentado un notable incremento con la incorporación en Japón de los escudos de cabezas múltiples con configuración horizontal y/o vertical.

En los comienzos del siglo XXI estamos asistiendo a una demanda creciente de escudos presurizados como consecuencia de los numerosos proyectos subterráneos, principalmente urbanos que se están realizando o que proyectan realizarse en un futuro próximo.

Esta demanda de máquinas garantiza un desarrollo tecnológico continuado en los años venideros que, sin duda conseguirá un notable perfeccionamiento en los diseños, que permitirá disponer de máquinas con un mayor campo de utilización, con una mayor versatilidad y capaces de conseguir mayores rendimientos con unos mayores niveles de seguridad.