



I CAIM 2008
Primer Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
Octubre 2008

Investigación y Desarrollo aplicada a la Fabricación de Productos Tubulares de Alta Performance para la Industria de la Energía

Juan Carlos Gonzalez

Director Corporativo de Ingeniería de Producto Tenaris, www.tenaris.com

Dr Simini 250 (2804) Campana, Argentina

jcgonzalez@tenaris.com

Introducción

La gran demanda energética y la necesidad de mantener e incrementar los niveles de producción de hidrocarburos constituyen un factor determinante para el desarrollo de tubos de acero aptos para condiciones de servicio muy exigentes.

Tenaris es una empresa líder a nivel global en la fabricación de acero y provisión de tubulares y servicios para la industria de la energía.

Los programas de investigación y desarrollo son una herramienta esencial para mantener el liderazgo y garantizar la diferenciación en un mercado muy activo y competitivo.

Breve presentación de la empresa

Tenaris es un productor global de tubos de acero, tanto sin-costura como soldados, con una capacidad de 6 millones de toneladas anuales. Su producción está concentrada en cuatro segmentos industriales, siendo los tubos destinados a la exploración y producción de gas y petróleo, así como los destinados a la conducción y procesamiento los principales segmentos. El nombre Tenaris fue lanzado en 2001, actuando como empresa global desde ese momento, y cotizando como empresa pública en cuatro mercados: Buenos Aires, New York, Milan y México. Actualmente, Tenaris cuenta con plantas industriales en cuatro continentes, disponiendo de centros de servicio y oficinas comerciales en más de 20 países. Tenaris produce casi totalmente el acero que utiliza para la fabricación de tubos sin costura, estando sus acerías ubicadas en Argentina, México, Italia y Rumania. Su origen en Argentina se identifica con Siderca SAIC, cuyo inicio de producción se remonta a 1954, siendo en la actualidad una de las principales plantas de Tenaris con una producción de más de 1 millón de toneladas de acero líquido por año.

Tendencias en materiales y condiciones de servicio para la industria de la energía (tanto E&P de petróleo y gas, como Power Generation)

Las actividades productivas en Tenaris están focalizadas principalmente en la industria de la energía, comprendiendo los sectores de exploración y producción de hidrocarburos, las instalaciones de conducción de los mismos y el procesamiento posterior en plantas

petroquímicas, así como las plantas generadoras de energía. Actividades como las instalaciones geotérmicas, la inyección de vapor, los poliductos y el eventual transporte de H₂ o la secuestración de CO₂ son considerados dentro de la misma.

La demanda energética creciente que se registra actualmente a nivel global y sus perspectivas futuras definen al sector energía como de extrema criticidad. El agotamiento de yacimientos tradicionales y la búsqueda de nuevas fuentes de petróleo y gas implican avanzar en áreas donde las condiciones de servicio son muy críticas, tanto por la profundidad a alcanzar, la presencia de altas temperaturas y presiones, como por los ambientes extremadamente corrosivos o la necesidad de explotar fuentes no convencionales, Figs 1-2 ^[1]. Nuevas tecnologías de diseño de pozos necesarias para aumentar eficiencia, acceder a reservorios dificultosos y también sortear geologías no ventajosas, como los grandes mantos salinos, hacen del diseño de productos tubulares en aceros y aleaciones especiales un campo de gran atractivo para las actividades de desarrollo ^[2-3].

En el caso de exploración y producción de hidrocarburos hay un incremento importante de las explotaciones “off-shore” en aguas profundas. Los equipos e instalaciones son sometidos a condiciones muy exigentes donde están presentes los servicios con cargas alternativas, la presencia de deformaciones permanentes, altas temperaturas y presiones, junto con ambientes corrosivos, siendo necesario disponer de materiales, aceros y aleaciones, de muy alta calidad para enfrentarlas, Figs 3 ^[4].

La producción de gas a alta presión así como los pozos desviados y horizontales han introducido la necesidad de uniones roscadas de alta performance (alta capacidad de torque y resistencia a la compresión) y sellabilidad comprobada para la unión de tubulares.

Un resumen de las tendencias en exploración y producción de Oil and Gas, que determinan el tipo de productos tubulares y la complejidad de tecnologías para producir hidrocarburos es la siguiente:

- Mayores Profundidades, Aguas Profundas (+500m) y Ultra-profundas (+1000m).
- HT / HP Alta temperature y Alta presión
- Perforación horizontal, desviada y multilateral
- Inyección de vapor (petróleos pesados, no convencionales), Fig. 2.
- Condiciones de corrosión severas (agua de producción / condensación con H₂S, CO₂, ClNa, etc)
- Pozos esbeltos para ahorrar costo de perforación (Slim wells, lean profile)
- Producción de gas en alta presión
- Temas ambientales, evitando contaminación de subsuelo, acuíferos, mares, etc.
- Soluciones para campos maduros, tendientes a mantener el nivel de producción.

La generación de energía es otro importante sector industrial donde las nuevas centrales supercríticas y ultra-supercríticas, que persiguen un aumento de la eficiencia y una disminución de la contaminación ambiental, presentan situaciones de servicio muy comprometidas en términos de materiales (temperaturas que superan 650°C y presiones mayores a 30MPa), todo esto promueve el desarrollo de nuevos aceros y aleaciones. Las aleaciones Cr-Mo y los aceros inoxidables resistentes al creep, a la oxidación superficial y con estabilidad microestructural encuentran lugar en esta aplicación.

Algunos desarrollos recientes.

(i) **El desarrollo de uniones roscadas propietarias para tubos de exploración y producción de petróleo y gas.**

Los pozos para exploración y producción de petróleo y gas utilizan tubos denominados casing (estructurales) y tubing, que constituye la columna de producción. La unión entre tubos se hace utilizando uniones roscadas. Hay uniones según el estándar API y otras para enfrentar mayores requerimientos de servicio, conocidas como uniones “Premium” o propietarias. Hay varias generaciones de uniones propietarias, donde las primeras surgieron varias décadas atrás. A medida que las condiciones de producción de hidrocarburos se han hecho más complejas, los requerimientos de sellabilidad, para evitar pérdidas a través de las uniones, así como los de resistencia mecánica se han tornado más exigentes ^[6-7].

Los principales esfuerzos a los que se ve sometida una columna de tubos dentro del pozo, por consiguiente las uniones roscadas que la integran, son las siguientes: esfuerzos de tracción, de compresión, presión interna y presión externa, así como una combinación de las mismas. El estado de carga en una determinada posición puede evaluarse con el criterio de Von Mises.

La sellabilidad se alcanza con superficies de contacto metal-metal de diversas geometrías o con sellos resilientes de materiales no-metálicos. Tanto sellos internos como externos, para uniones cupladas o integrales, con eficiencias muy altas se encuentran en las uniones propietarias de última generación, siendo efectivos para evitar pérdidas aún con gases a alta presión.

En condiciones ideales las conexiones no deben representar un punto de debilidad de la columna y resistir tanto como los tubos que conectan ante los distintos esfuerzos.

Nuevas aplicaciones, como la perforación directa con casing o el uso de “steel catenary risers” con juntas roscadas en proyectos de aguas profundas, introducen cargas alternativas y por lo tanto el requerimiento de reducir el factor de concentración de tensiones para mejorar la vida a fatiga ^[6].

En el caso de las conexiones Premium, se realizan ensayos de calificación según norma ISO 13679 ^[21]. Estos ensayos son del tipo “full scale”, abarcando todas las condiciones posibles de servicio representadas por la elipse de Von Mises, Fig.5. Los centros de R&D de Tenaris cuentan con diversas máquinas horizontales que pueden aplicar tracción, compresión, presión interna, externa, bending y ciclado térmico, con una capacidad máxima de tracción de 2500 tn.

Entre los resultados de desarrollo de producto destacables de los últimos años se encuentran importantes nuevas conexiones roscadas para tubos, se trata de las así denominadas “juntas Premium”, siendo las TenarisBlue®, TenarisBlue® Dopeless™ y TenarisBlue® NearFlush las más notables, Figs 4-5.

TenarisBlue® es un producto plataforma que ha originado varios derivados para proveer soluciones específicas a la industria, Fig. 4.

Para este desarrollo se constituyó un “grupo de diseño” interdisciplinario, donde el diseño conceptual, el modelado por elementos finitos, la prototipación, los ensayos a escala real y el field test constituyeron la metodología.

(ii) - Tubos para resistir altas presiones externas, grados “alto colapso”.

En el diseño de pozos petroleros es necesario considerar para casos de alta presión externa la adopción de grados para Alto Colapso. La presión, generalmente de naturaleza hidrostática, puede ser ejercida por movimientos del terreno, mantos salinos, o simplemente alta presión del reservorio. Este tipo de tubos de acero se presenta en grados con resistencia mínima a la fluencia en el rango 80 a 140 Ksi.

El desarrollo de productos para resistir al colapso requiere consideraciones de tipo metalúrgico y mecánico. Las características esenciales para estos grados son las siguientes: alcanzar una microestructura martensítica completa, mantener las tensiones residuales en valores muy controlados y cumplir con características dimensionales muy estrictas (ovalidad, excentricidad) [8-10].

El colapso se origina por una inestabilidad estructural o por fluencia. De esta forma hay dos mecanismos: colapso elástico que ocurre en tubos delgados y colapso plástico (tubos de pared gruesa, $D/t < 15-22$). A medida que D/t aumenta disminuye la presión mínima a la que aparece el fenómeno de colapso, Figs. 6-7.

Como ha sido probado por varios estudios la geometría de los tubos influye fuertemente sobre la resistencia al colapso de los tubos petroleros. La influencia de la excentricidad, ovalidad y esfuerzos residuales ha sido bien estudiada. La ovalidad la definimos como

$$Ov(\%) = \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\text{average}}} \cdot 100$$

y tiene un efecto fuerte sobre la resistencia al colapso. La máxima ovalidad tolerable es

$$Ecc(\%) = \frac{(t_{\max} - t_{\min})}{t_{\text{average}}} \cdot 100$$

aproximadamente 0.6% para los productos de alta performance. La excentricidad ($Ecc(\%)$) tiene un efecto menor sobre la presión de colapso. Se recomienda una variación de espesor de pared de +/-10% del valor nominal. Mientras que los esfuerzos residuales son importantes, en particular para tubos con $OD/WT < 22$ y en menor medida para los tubos con mayor OD/WT . Con esfuerzos residuales $> 20\%$ la reducción en la resistencia al colapso es aproximadamente 15% para $OD/WT \sim 18$ [10].

(iii) - Deformación plástica durante la operación de “reeling”

En las operaciones off-shore es muy común utilizar como método de instalación el debobinado desde barcasas (reel laying method). Esto origina ciclos de deformación plástica por bending y enderezado, lo que afecta las propiedades mecánicas del material

(tubo de acero) y de la soldadura circunferencial (girth weld) que une los distintos tramos de tubo ^[11-14].

El método de bobinado (“reeling”) es corrientemente aplicado a un rango grande de diámetros y espesores de pared, siendo un límite reconocido OD 16” y espesor de pared 30mm, Fig.9.

La deformación plástica acumulada puede reducir la tenacidad y la ductilidad remanente del tubo de acero, Fig.10. Estudios sobre la influencia de distintos ciclos de deformación se realizan con “full scale reeling test” y “multiple plastic strain cycle”, determinando como influyen según la localización en la sección transversal, tanto en el tubo como en la soldadura, Fig.11. Este comportamiento es tenido en cuenta para el diseño de aceros y también para fijar el set up de bobinado.

Organización Global de Tenaris para el Desarrollo de Producto, instalaciones y metodología

La compañía Tenaris invierte fuertemente en Investigación y Desarrollo aplicado a tubos sin costura, conexiones roscadas para petróleo y gas, desarrollo de aceros y aleaciones especiales y en procesos de acería, laminación en caliente, tratamiento térmico de aceros e inspección no destructiva, entre otros temas ^[2,5].

El Programa de Desarrollo de Producto y Procesos (PDP) está institucionalizado en Tenaris y cuenta con una importante asignación de fondos de base anual. Los proyectos individuales pueden durar varios años, pero todos son validados y eventualmente reformulados anualmente. El programa sigue los lineamientos establecidos en la norma ISO para diseño y es monitoreado por la alta dirección ^[22]. Se trata de una herramienta eficiente que permite afianzar la posición de la empresa a nivel global.

Todos los segmentos de tubulares dentro del negocio de Tenaris están cubiertos. El proceso se inicia con la colección de ideas y problemas (inputs), necesidades de la industria que sería importante resolver. Se destaca la importancia que tiene una correcta apreciación de los futuros requerimientos y tendencias del mercado, tanto a través del análisis de las tendencias en tecnología, nuevos desarrollos que la industria en particular adopta, así como la exploración de temáticas novedosas bajo desarrollo en institutos de R&D públicos y privados.

Un modelo simplificado del proceso que lleva a la formulación del programa se indica en Fig.12. Las ideas transformadas en proyectos constituyen el programa. Los objetivos del programa son:

- Desarrollo de Nuevos Productos
- Mejoría de Productos Existentes
- Mejoría en Procesos de Fabricación e Inspección
- Innovación en Procesos
- I+D Exploratorio (Básico y Aplicado)

Las necesidades de la industria son el principal input a tener en cuenta para el desarrollo de nuevos productos. La investigación de tendencias y las nuevas tecnologías requeridas para la exploración y producción de hidrocarburos: proyectos en aguas profundas,

perforación desviada y horizontal, sistemas remotos de control en los campos petroleros y gasíferos, altas temperaturas y presiones, etc., representan oportunidades de negocio que solo pueden ser cubiertas con una adecuada inversión en desarrollo. El proceso innovativo sigue el esquema de Fig. 13. La participación en foros de tecnología específicos, conferencias técnicas, las organizaciones de normalización (API, ISO, NACE, ASTM, etc.), los institutos especializados de investigación y desarrollo, tanto universitarios como independientes, son ámbitos naturales para la colección y gestación de ideas para el desarrollo de productos innovadores.

Para el desarrollo de nuevos productos, ya sea aceros o componentes diversos, se utiliza una estrategia de selección que puede caracterizarse como de embudo, Fig. 14. Inicialmente, un proyecto puede contemplar el análisis de una serie de “candidatos”, surgidos tanto de análisis teóricos como de experiencias previas. Luego se fijan etapas de revisión (“gates”) que generalmente son ensayos predefinidos en el proyecto, donde se evalúan las propiedades mecánicas críticas (resistencia, tenacidad, propiedades a baja y eventualmente a alta temperatura), resistencia a la corrosión y al desgaste. En cada una de estas pruebas se efectúa un ranking de los candidatos y aquellos que no alcanzan al mínimo esperado para la propiedad en cuestión son descartados.

Luego, se pasa a pruebas funcionales, como podrían ser las escalas piloto o pruebas en campo, existiendo en la conclusión de las mismas también una cierta reducción en el número de soluciones “candidato”. Finalmente, se inicia la última parte previa al lanzamiento al mercado que se denomina industrialización.

En otros proyectos, donde desde el inicio se prevé una sola alternativa se aplica un esquema de túnel. Las etapas de revisión permiten reformular o eventualmente parar el proyecto. Esto es aplicable a proyectos sobre procesos de manufactura.

Tenaris cuenta con cuatro centros de Investigación y Desarrollo, localizados en Argentina, México, Italia y Japón, dentro de los mismos trabajan numerosos científicos y tecnólogos. Esta organización de investigación y desarrollo se complementa con los ingenieros especializados en cada segmento de producto, entre cuyas funciones principales se encuentra la de estar fuertemente conectados con las distintas realidades industriales. Ver Tabla I.

Resultados del Programa de Desarrollo en los Últimos años.

Los esfuerzos en Investigación y Desarrollo han contribuido al desarrollo de productos tubulares sofisticados, siendo estos muy apreciados en el mercado petrolero. Aparte de las conexiones roscadas de alta performance ya mencionadas, otros productos desarrollados en los últimos años y en los que se continúa profundizando son los siguientes:

- Tubos para trabajo en ambiente conteniendo H₂S (“sour service”) para la producción de Petróleo y Gas en (API/ISO T95.1, C110, C125 y sus variantes propietarias).
- Acero de Baja Aleación para “OCTG” destinado a enfrentar la corrosión generalizada en ambientes conteniendo CO₂ ^[15].

- Aceros martensíticos en grados 80 a 125 Ksi de fluencia para servir en ambientes CO₂ ^[16-17].
- Desarrollo de tecnología “sin grasa” para uniones roscadas (dope-free connections) ^[18].
- Linepipe (tubos de conducción) de alta performance para proyectos Deep Water y Ultra Deep Water (flowlines y risers), en grados X65 a X100 ^[13,19].
- Tubos “OCTG” para resistir altas presiones externas (tubos alto colapso) ^[8-9].
- Varillas de Bombeo de alta fluencia y resistentes a la fatiga, huecas y macizas. Juntas roscadas propietarias para varillas de bombeo.
- Tubos para contener gases industriales y para recipientes Jumbo de transporte de gas, resistentes a la fatiga y al SCC (“stress corrosion cracking”).
- Aceros de alta resistencia (SMYS 165Ksi) para la fabricación de “inflator vessels” del sistema de airbags, y “perforating guns” para la industria petrolera.
- Juntas propietarias de alta resistencia al torque y compresión con diseño de dientes en cuña (“wedge”).

Conclusiones

La industria de la energía, donde se agrupan la exploración y producción de hidrocarburos, la conducción de los mismos y las plantas petroquímicas y de generación de energía eléctrica, constituye un sector donde los requerimientos mecánicos y de materiales son muy exigentes y presenta a su vez importantes desafíos desde el punto de vista de la investigación básica y del desarrollo de nuevos productos y procesos.

La explotación de yacimientos con alta presión (≥ 20 Ksi) y alta temperatura ($\approx 200^\circ\text{C}$) representan condiciones extremadamente críticas para materiales, equipos y sistemas. Estos yacimientos, como Tupi en Brasil y otros en Golfo de México, son las fuentes futuras de combustibles fósiles, así como los petróleos pesados de la cuenca del Orinoco o las arenas bituminosas de Canada. En todos los casos muy demandantes en términos de performance de materiales.

La necesidad de exploración y producción en profundidades mayores así como las altas temperaturas son factores clave para el requerimiento de grados de mayor resistencia, junto con requerimientos de fractoténacidad, resistencia a la fatiga y una tolerancia cada vez más reducida a las imperfecciones y defectos superficiales, entre otros factores.

La investigación y desarrollo aplicada a productos y procesos es un asunto central para proveer soluciones innovativas a la necesidades de la industria, desarrollando nuevos productos y procesos, mejorando los existentes y colaborando con el aumento de la consistencia cualitativa de los mismos.

El programa de desarrollo de producto y procesos está institucionalizado en Tenaris y recibe particular atención de la alta dirección. Para poder llevar adelante el mismo, así como el moderno proceso industrial de producción, es necesario contar con recursos humanos altamente capacitados. Es así que el entrenamiento y educación continua de profesionales, así como el apoyo a programas universitarios públicos y privados, son partes esenciales de la política industrial de Tenaris ^[20].

Los resultados que Tenaris ha obtenido de su programa de desarrollo de producto son muy positivos y variados. Entre ellos se encuentran tubos para conducción (linepipe) de alta performance, grados propietarios para exploración y producción de petróleo y gas, uniones roscadas propietarias, tubos para componentes mecánicos y estructurales, etc., alcanzando hoy el portafolio de patentes a más de 120 familias^[2,5-9,11-19].

Referencias:

1. M.Dussuault, "New Production Technologies", SPE Distinguished Lectures 2002-03, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2003.
2. Modern Pipe Technology Answers to the Present Oil & Gas Industry Needs, J.C.González, T.Ono, E.Dvorkin, Proceedings of China International Tube & Pipe Conference 2004, ITA, Shanghai, China, pp 169-180, Sept 19-21, 2004
3. K.Baker, "Technology and Value, Achieving the Right Balance", plenary conference at SPE / IADC Technology Conference and Exp., Abu Dhabi, UAE, October, 2003.
4. B.Thurmond, "Challenges and Decissions in Developing Multiple Deepwater Fields", OTC 16573, 10 pgs, 2004.
5. M B Kermani, J C Gonzalez, C Linne, M Dougan and R Cochrane, "Development of Low Carbon Cr-Mo Steels with Exceptional Corrosion Resistance for Oilfield Applications", NACE Annual Corrosion Conference, Paper 01065, 2001
6. Premium & Semi-premium Connections Design Optimization for Varied Drilling with Casing Applications. N.Santi, G.Carcagno, R.Toscano, Tenaris. OTC 2005, paper 17221
7. Low SCF Integral Premium Connections for Use in Highly Demanding Casing and Tubing Drilling Operations. G.Carcagno, Luis Conce, R.Toscano, Tenaris; Andres Bufalini, CSM. OTC 2004, paper 16566.
8. A.P.Assanelli, R.G.Toscano, D.H.Johnson and E.N.Dvorkin, "Experimental / numerical analysis of the collapse behavior of steel pipes", *Engng. Computations*, Vol.17, pp.459-486, 2000.
9. A.P. Assanelli and G. López Turconi, "Effect of measurement procedures on estimating geometrical parameters of pipes", 2001 Offshore Technology Conference, Paper OTC 13051, Houston, Texas, 2001.
10. M.L.Payne, W.T.Asbill, R.B.Livesay & L.Crabtree, "JIP DEA 130 enables modernization of OCTG performance properties", *World Oil*, July 2002, pp 73-78.
11. Effect of Reel-laying Simulation on Mechanical Performance of Flowlines. E.Anelli, CSM. M.Tivelli, A.Izquierdo, H.Quintanilla, Tenaris. International Pipeline Conference, 2006. Calgary, Alberto, 2006. paper 10364.
12. Effect of Yield to Tensile (Y/T) Ratio on the Structural Integrity of Offshore Pipeline: Advanced Engineering Assessment Using Limit State Design Approach. G.Malatesta, G.Mannucci, G.Demofonti, CSM; G.Cumino, A.Izquierdo, H.Quintanilla, M.Tivelli, Tenaris. Río Pipeline 2005. Paper IBP1374.
13. Metallurgical Aspects of Heavy Wall High Strength Seamless Pipes for Deep Water Applications. M.Tivelli, G.Cumino, A. Izquierdo, E.Anelli, A.DiSchino, Tenaris-CSM.Rio Pipeline 2005.
14. Effect of Plastic Deformation Pattern Typical of Reel Laying on the In-Service Mechanical Performance of Pipes and Girth Welds. M.Tivelli, G.Cumino, A.Izquierdo, Tenaris. E.Anelli, CSM. Rio Pipeline 2005. paper IBP 1008

15. M.B.Kermani, J.C.Gonzalez, G.Turconi, T.Perez, C.Morales, Corrosion 2004, paper 04111, New Orleans, LA, USA, 2004.
16. S.Hashizume, Y.Inohara, Y.Minami and K.Masamura: "Effects of Chemical Composition and Strength on Corrosion Resistance of Martensitic Stainless Steels in CO₂ and H₂S Environments", Supermartensitic Stainless Steels'99, Paper No.36(1999), Brussels.
17. S.Hashizume, K.Masamura and K.Yamazaki: "Performance of High Strength Super 13%Cr Martensitic Stainless Steels", CORROSION/2003, Paper No.95(2003), San Diego, CA.
18. G.Carcagno, T.Castiñeiras, Tenaris; D.Eiane, Statoil, "First Gas Field Developed using Exclusively DopeFree Casing and Tubing Connections- Statoil Snøhvit". SPE 2007, paper 105855.
19. A.Izquierdo, H.Quintanilla, G.Richard, G.Mannucci, Tenaris; E.Anelli, CSM. "Development of High Steel Grade Seamless X100 Weldable". OMAE 2008, Estoril, Portugal. Paper 58022.
20. J.C.Gonzalez, D.Krishock, F.Tonolini, R.Topolevsky, "Steel Industry and Universities Working Together: The Tenaris Experience" AIST 2006, Cleveland, May 2006 (Iron & Steel Tech, pp72-76, Sept 2006).
21. Petroleum and Natural Gas Industries. Procedure for testing casing and tubing connections. ISO 13679:2000, 1st Edition
22. Quality Management System Requirements, ISO 9001:2000
23. M.Dusseault, "New Production Technologies", Univ Waterloo, Canada, SPE Distinguished Lecture, 2002-2003
24. Douglas Westwood, "The World Deepwater Report", Report 4, 2003-2007

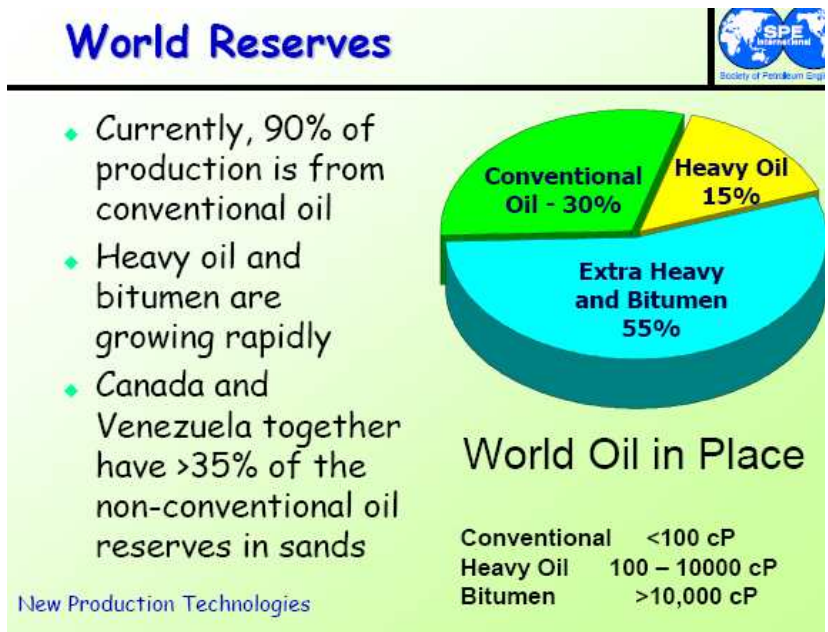


Fig. 1 – Reservas de petróleo, relación con petróleos no convencionales ^[23].

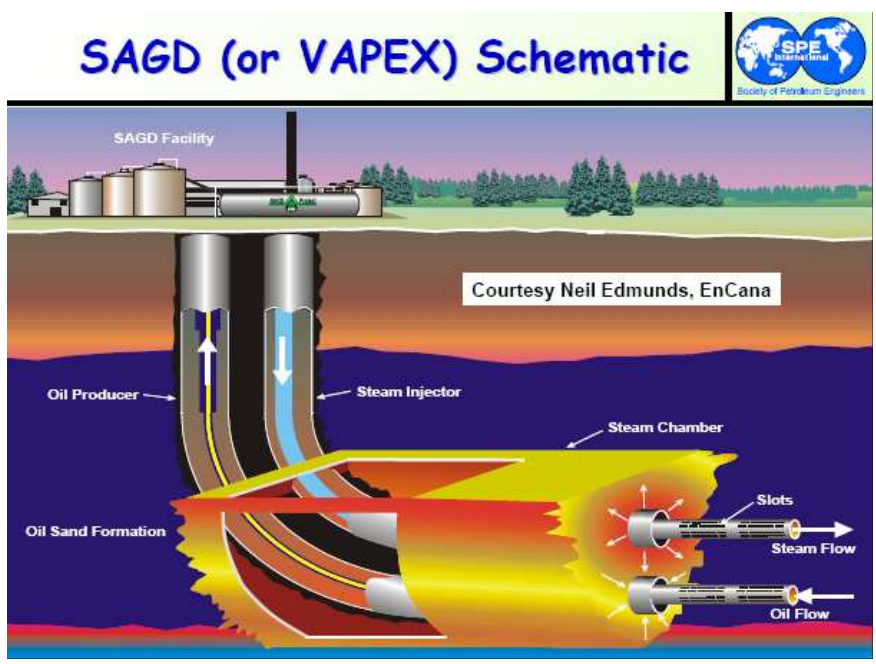


Fig. 2 – Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD): explotación de arenas bituminosas (Canada) ^[23].

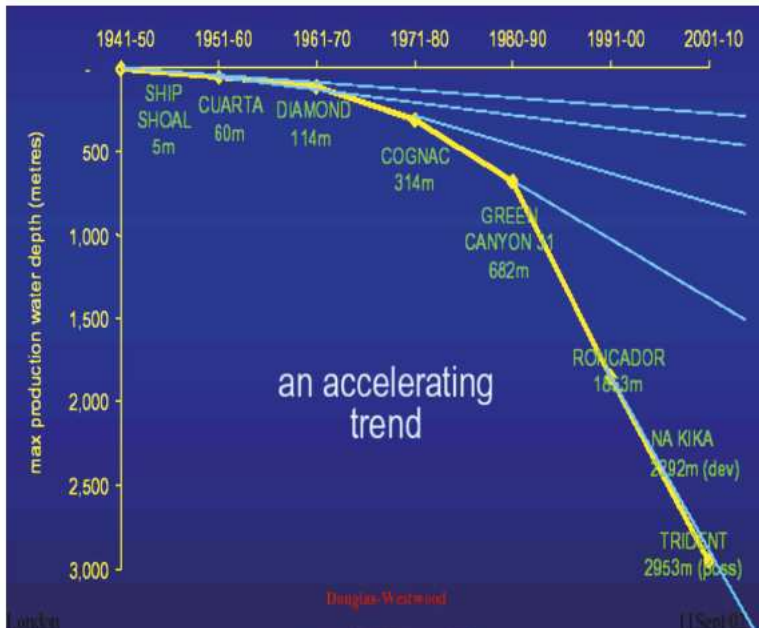
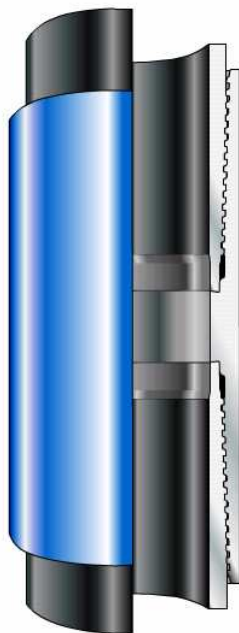


Fig. 3 – Evolución de la explotación en aguas profundas [24].



Conexión TenarisBlue®

Alta performance en tensión, compresión, presión interna y presión externa.

Ensayada según norma ISO 13679 Cal IV

Actualmente desarrollada en la siguiente gama 2.3/8” a 13.5/8” de Diámetro externo de la tubería.

Alta sellabilidad para gases.

Calificada para servicio a alta temperatura, tanto para producción como para inyección de vapor en pozo.

Derivativos: varias conexiones para usos específicos, i.e.: inyección de vapor, barrera de corrosión, perfil esbelto, etc.

Fig 4 – Desarrollo de Uniones Roscadas de Alta Performance.

Fig 5 – Elipse de Von Mises para unión Tenaris Blue.

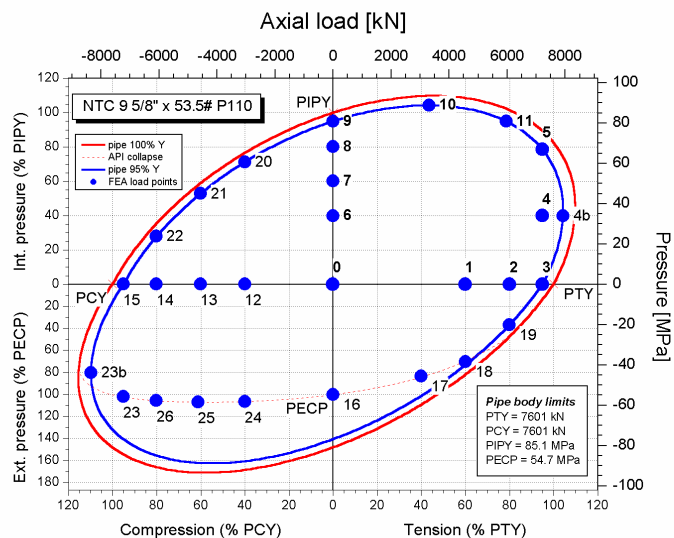




Fig 6 – Ensayo de Colapso

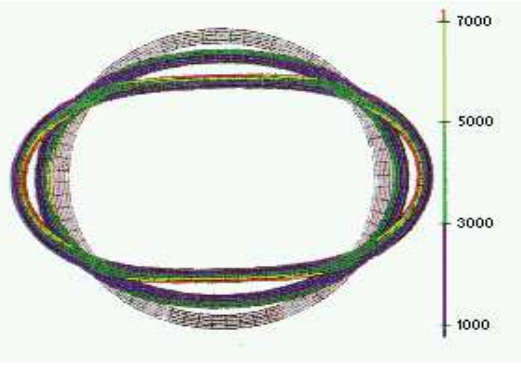


Fig. 7 – Inestabilidad de la sección transversal debida al colapso

Fig. 8 – Presión de Colapso en función de la relación de esbeltez del tubo (diámetro / espesor).

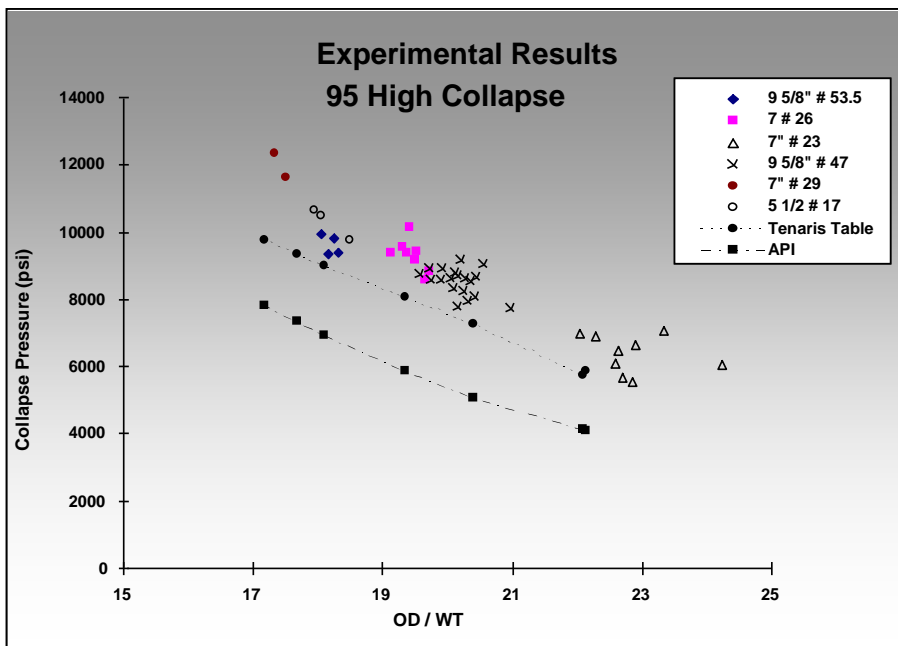
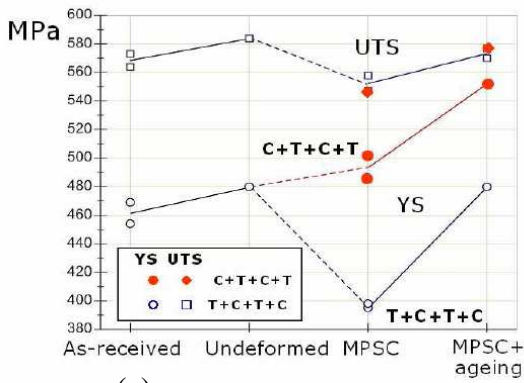




Fig. 9 – Operación de tendido offshore de linepipe a partir de una bobina.



(a)

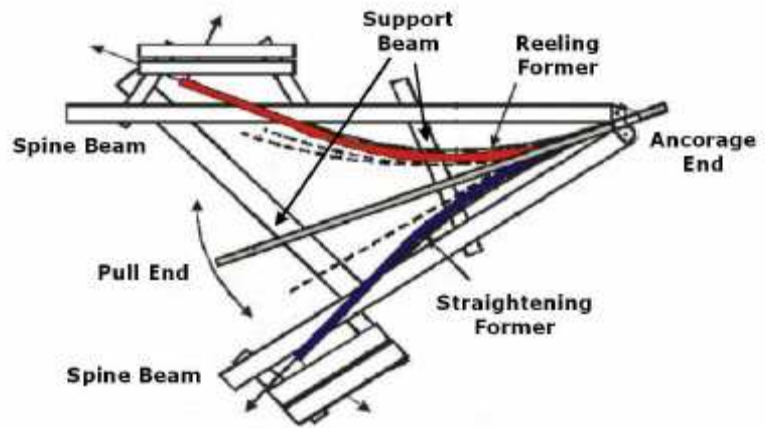
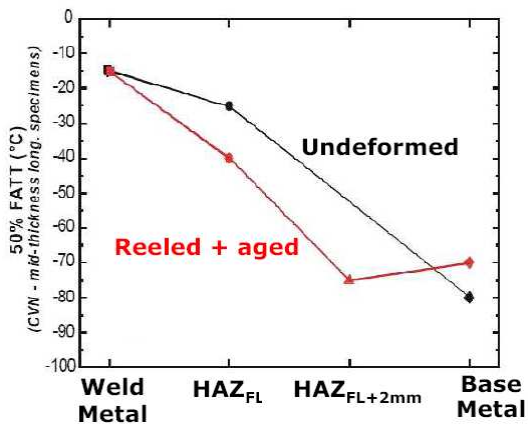


Fig. 11 – Ensayo a plena escala de “reeling”.



(b)

Fig 10 (a) Efecto del proceso de reeling sobre las propiedades mecánicas, (b) evolución en HAZ y material base luego del reeling

Fig. 12 – Proceso para Establecimiento del Programa de Desarrollo en Tenaris

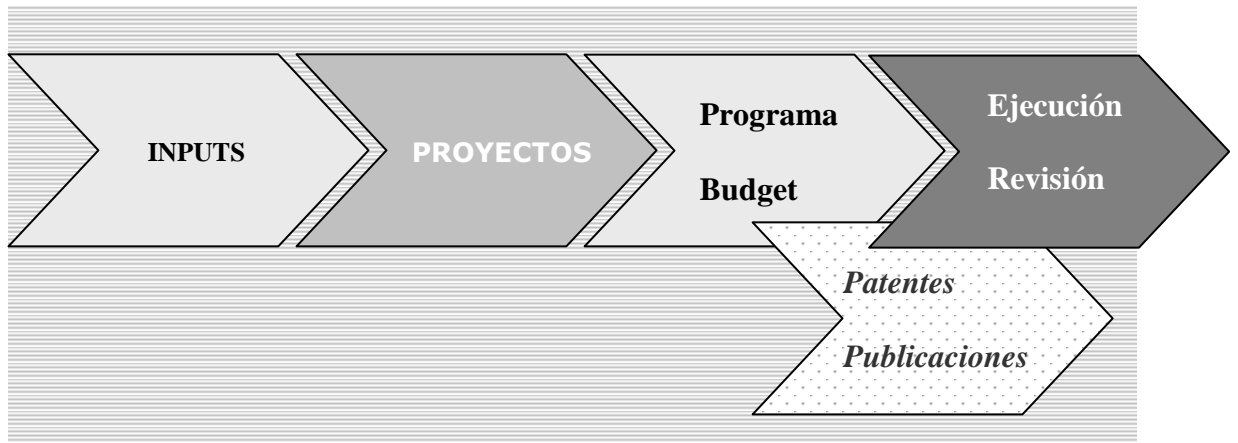


Fig. 13 – Modelo de Innovación (Klein, 1985)

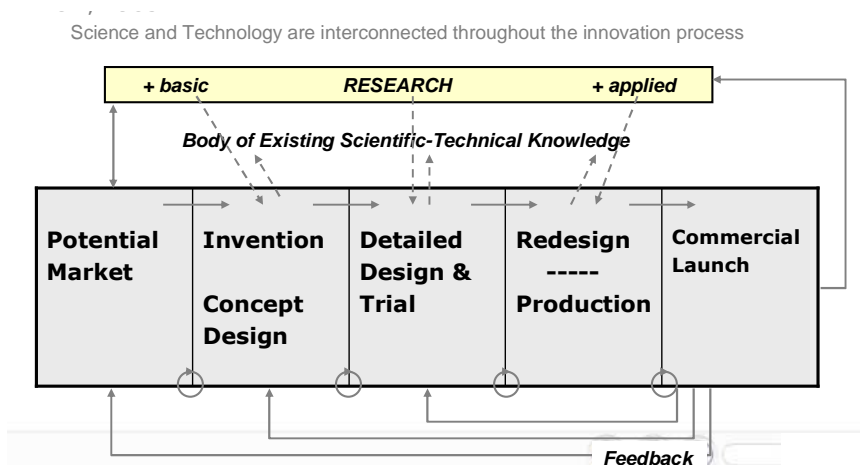


Fig. 14 – Aplicando la selección de alternativas, modelo del embudo.

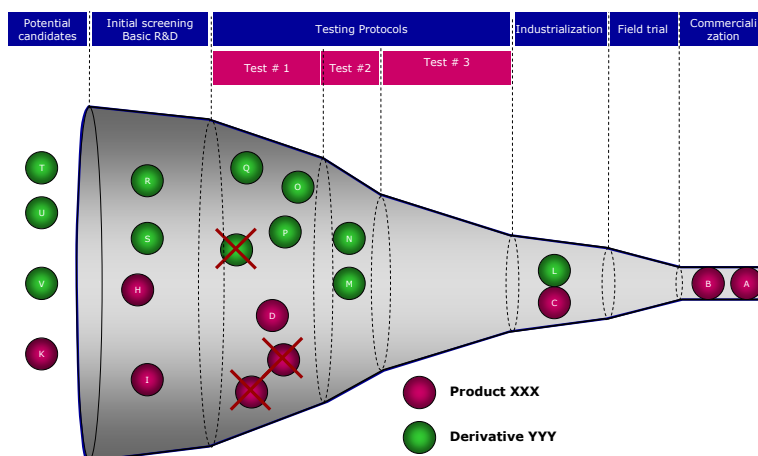


Tabla I – Centros de Investigación y Desarrollo de Tenaris

Centro I+D	Principales Actividades	Localización
Centro Investigación Industrial – CINI	<ul style="list-style-type: none"> • Metalurgia Física de Aceros. Solidificación. Tratamientos Térmicos, • Fractomecánica. • Ensayos a Plena Escala de Productos Tubulares. • Modelado Físico y Numérico. No Destructivos. • Nanotecnología. • Corrosión. 	Campana, Argentina
NKKT R&D	<ul style="list-style-type: none"> • Metalurgia de aceros inoxidable y aleaciones especiales. • Diseño de Drill Pipe. • Ensayos a Plena Escala de Tubulares. 	Kawasaki; Japón
Tamsa R&D	<ul style="list-style-type: none"> • Metalurgia de aceros para Linepipe • Fractomecánica. • Ensayos a Plena Escala de Tubulares. • Procesos de Conformado. 	Veracruz, México
Dalmine R&D	<ul style="list-style-type: none"> • Metalurgia de aceros para industria mecánica y para servicio a alta temperatura. • Tecnología de laminación en caliente. 	Dalmine, Italia