

Vista general del Terminal.

sinopsis

En este artículo se hace notar el empleo, con feliz resultado, del acero, y de elementos prefabricados de la estructura, aun estando la obra enclavada en un ambiente hostil a dichos materiales: el mar.

Son interesantes las modalidades de soldadura que se han utilizado para la conjunción de elementos tubulares, así como la protección que se ha adoptado para la estructura, en un ambiente tan agresivo.

Terminal en Trieste del oleoducto transalpino

GIANCARLO MANNUCCI, Dr. ingeniero

559 - 10

1. Generalidades

La instalación del oleoducto transalpino Trieste-Ingolstadt ha sido realizada por una sociedad de petróleos internacional (T.A.L. —Trans Alpine Line Pipe—) que, en lo que atañe a la parte italiana, radica en la S.I.O.T. (Società Italiana per l'Oleodotto Transalpino), desde el período comprendido entre los comienzos de los años 1966 y 1967.

Hoy en día podemos decir felizmente que está particularmente vinculada a la industria italiana.

Estas obras son bastante numerosas, y de ésta se puede asegurar, sin ningún género de duda, que es una de las más grandes del mundo y la más moderna; esto último no sólo por motivos cronológicos. Se trata de más de 400 km de oleoducto, de los que 140 están en territorio italiano y a lo largo de los cuales hay estaciones de bombeo, grandes depósitos, un sistema de telecomunicación, además de la terminal marítima en la que se efectúa la descarga de petroleros.

En esta obra que tratamos, a la que no cabe sólo mirarla desde el punto de vista de ser una solución interesante, hay muchos problemas de tipo técnico y económico que la Bechtel Corp. americana, que es la que ha efectuado el Pliego de Condiciones y supervisado el proyecto, ha planteado a expertos de todo el mundo.



Muelle acabado.

La obra es un motivo de satisfacción para el grupo de Sociedades italianas (*) que han trabajado en la Terminal y para los que siempre han puesto la máxima confianza en el acero. Al acero, y particularmente al tubo de acero, se debe el enriquecimiento de la economía italiana y europea. El resultado obtenido es tanto más interesante cuanto que el acero se ha impuesto en unas condiciones tradicionalmente adversas: en presencia de la acción corrosiva del mar.

2. Descripción de la instalación

La terminal marítima del oleoducto está enclavada en la bahía de Muggia, al sur de Trieste. Ha sido previsto el atraque simultáneo de cuatro petroleros: dos de ellos de 100.000 t y otros dos de 160.000 toneladas.

Está constituida por un embarcadero principal, que consiste en un pequeño muelle, del que salen dos embarcaderos separados en la dirección del viento dominante (cierzo de 180 km/h), a lo largo de los que se efectúan el atraque y la descarga.

(*) Dalmine, Micoperi, Interconsult, Montubi, Construcciones Metálicas Finsider, Compañía Italiana de Montajes Industriales, expresamente reunidas en Consorcio, con los siguientes cometidos:

Dalmine: Abastecimiento de todos los materiales y, en particular, de los tubos de acero sin soldadura. Cálculo de las estructuras espaciales tomado del propio «Centro de elaboración electrónica».

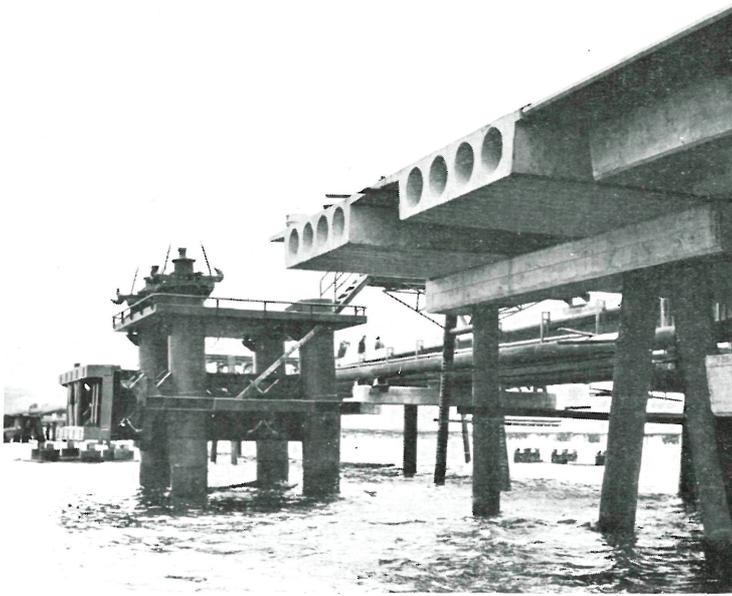
Micoperi: Prefabricación de los elementos de hormigón pretensado, carpintería en obra, todos los montajes en el mar y dirección de los trabajos.

Interconsult: Protección de la estructura y colaboración a la dirección de los trabajos.

Montubi: Soldadura en tierra de los elementos tubulares para la formación de la columna.

C.M.F.: Prefabricación de las estructuras metálicas.

C.I.M.I.: Montaje de la instalación eléctrica.

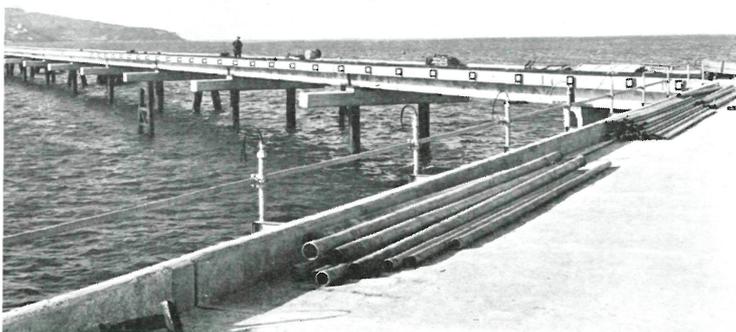
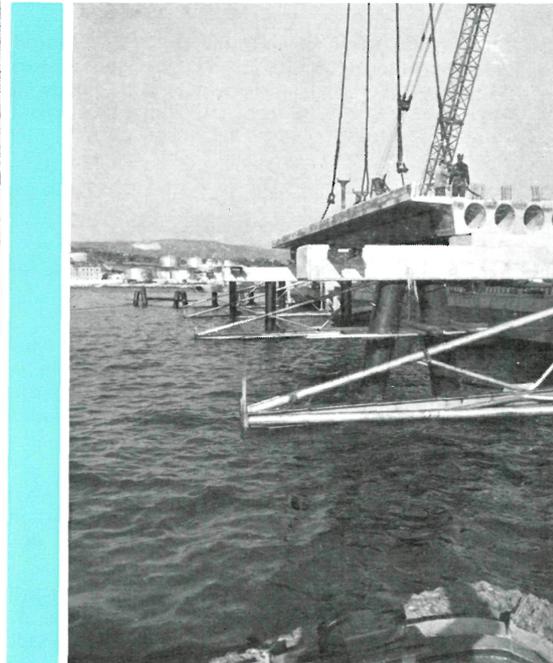
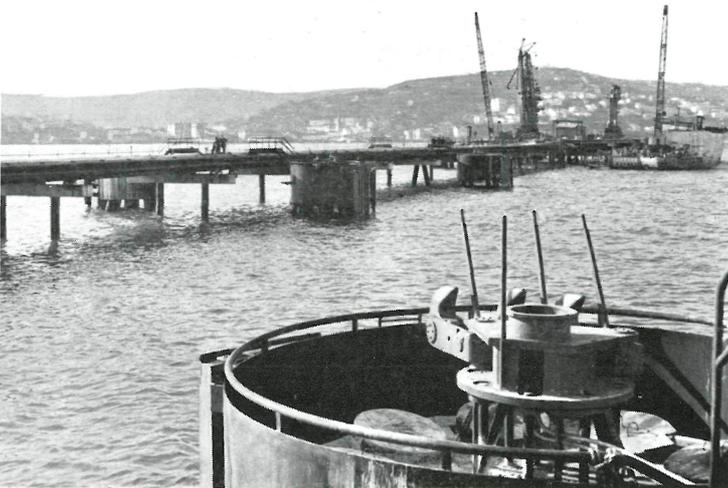


Los muelles sirven no sólo para tránsito de vehículos de carga y del personal de descarga, sino que también sostienen la tubería del petróleo bruto, y los cables de electricidad, tanto para iluminación como para energía eléctrica que precisa la operación de descarga.

Para las operaciones de atraque y descarga hay: 2 plataformas sobre las que están organizados los grupos de brazos de carga de 16"; 16 postes de amarre elásticos; un grupo de amarraderos fijos y varias estructuras especiales (turning dolphins), con la doble función de ser un punto de amarre y a la vez de ser lo suficientemente elásticos como para que se apoyen en ellos los petroleros y así facilitar la maniobra de atraque.

3. Criterios de proyecto

En el proyecto se ha impuesto el uso exclusivo de columnas tubulares de acero sin soldadura que tienen por misión soportar el suelo de los muelles y de las plataformas, las cuales están construidas a base de hormigón pretensado.



Amarradero elástico.

Amarradero fijo.

Muelle en construcción.

Forjado del muelle.



Estructuras especiales («turning dolphins»).

A causa de la conjunción de estos dos materiales se ha conseguido, en las vigas pretensadas, una marcada economía, y ligereza de peso, gracias a su minucioso proyecto, así como una considerable reducción de dimensiones.

Para los forjados de los muelles se ha adoptado una luz de 18 m, pues a esta distancia se ha podido fijar convenientemente los apoyos de los tubos para la conducción del bruto, que van a descansar sólo sobre las columnas de acero; de esta forma, los forjados soportan sólo tubos de pequeño servicio y otros pesos previstos en el proyecto (un autocarro contra incendios de 12,5 t, y una carga uniforme de 700 kilopondios/m²).

Las plataformas también se han construido con forjado de hormigón pretensado, sostenido por columnas de acero sin soldadura.

Los frentes de atraque tienen cuatro amarraderos elásticos que pueden absorber un choque de 90 a 200 megapondios.

Se han proyectado de modo que se pueda combinar la elasticidad a flexión de la columna tubular de acero para una elevada debilitación, con la flexibilidad al aplastamiento de los manguitos de goma cilíndricos. Esta combinación resulta muy práctica en los amarraderos que han de absorber grandes energías del choque, habiéndose conseguido pequeñas reacciones con un número relativamente pequeño de columnas.

Los manguitos de goma se han colocado en medio de la columna de modo que no puedan entrar en contacto con el costado de la nave, estando incorporados a una viga de acero con el fin de que se compriman antes de que comience la flexión de la columna.

La viga es suficientemente rígida para transmitir instantáneamente el esfuerzo a toda la columna y además tiene libertad de movimiento respecto a ésta. Ello hace que la superficie del armazón en contacto con la nave sea siempre paralela a su costado, aun cuando se verifique la deformación máxima de la columna.

Además, este frente de atraque tiene cuatro amarraderos para 80 a 350 megapondios.

Están constituidos por grupos de columnas tubulares de acero para elevadísima debilitación, que están anclados en el terreno con una adecuada inclinación y a la vez unidos por las cabezas con hormigón armado, zona ésta que se utiliza como plano de pisada para la maniobra de enganche.

En la plataforma, dispuestas en relación a los muelles, están las dos estructuras especiales que se han realizado agrupando dos estructuras: una central, que se ha realizado siguiendo la misma idea que los amarraderos fijos y otra anular, efectuada a su vez con la idea de los amarraderos elásticos.

La columna tubular de acero y la estructura secundaria (pasarela de carpintería tubular) se han dimensionado de acuerdo con las UNI 10 011 y 10 012, de acuerdo con las características de los materiales elegidos.

Para las columnas de los muelles, de las plataformas y de los amarraderos fijos, se ha considerado una sollicitación máxima admisible de 24 kp/mm², con arreglo a la Norma citada; y para las columnas de los amarraderos elásticos, una sollicitación del 60 por 100 de la carga de debilitamiento mínimo del acero.

En toda la instalación de la estructura se han seguido los métodos tradicionales; pero los amarraderos fijos, por ser estructuras espaciales, se han dimensionado siguiendo el método de las fuerzas generalizadas, traducido en programa por la IBM 7 070/1 401.

4. Características de los tubos empleados

Se han empleado tubos sin soldadura para las columnas de los muelles, las plataformas, las pasarelas y los amarraderos fijos. Y se han fabricado en acero soldable para elevado debilitamiento, al horno eléctrico o M. S., con las siguientes características:

Características mecánicas	Análisis químico de colada
$R_s \geq 36,6$ kp/mm ²	C $\leq 0,26$ %
$R \geq 55$ kp/mm ²	Mn $\leq 1,15$ %
$A \geq 22$ %	Si $\leq 0,35$ %
	S $\leq 0,05$ %
	P $\leq 0,04$ %
	S + P $\leq 0,08$ %

Los tubos que se han empleado para las columnas de los amarraderos elásticos, del tipo sin soldadura, son de acero soldable para elevado debilitamiento, el horno eléctrico o M. S., con las siguientes características:

Características mecánicas	Análisis químico de colada
$R_s \geq 44$ kp/mm ²	C $\leq 0,26$ %
$R \geq 65$ kp/mm ²	Mn $\leq 1,30$ %
$A \geq 18$ %	Si $\leq 0,35$ %
	Nb $\leq 0,010$ a $0,035$ %
	S $\leq 0,035$ %
	P $\leq 0,035$ %
	S + P $\leq 0,060$ %

En conjunto, se han empleado 5.500 t de tubos de las siguientes dimensiones (para las columnas):

— en acero con $R_s \geq 36,6$ kp/mm²:

\varnothing_e 343	$s = 10$ mm
\varnothing_e 368	$s = 12$ mm
\varnothing_e 508	$s = 11$ mm
\varnothing_e 558	$s = 11$ mm
\varnothing_e 572	$s = 11$ mm
\varnothing_e 609,6	$s = 11$ mm
\varnothing_e 660,4	$s = 11$ mm
\varnothing_e 724	$s = 10, 11$ y 14 mm
\varnothing_e 762	$s = 11$ mm
\varnothing_e 825	$s = 10$ mm
\varnothing_e 925	$s = 11, 12$ y 14 mm

— en acero con $R_s \geq 44$ kp/mm²:

\varnothing_e 925	$s = 12, 16, 18, 22, 24, 26$ y 28 mm
---------------------	--

Las extremidades de los tubos se han preparado en taller con un biselado, siguiendo la Norma ASA B 16.25. Dichas extremidades, para espesores finos de 14 mm, se han calibrado por el interior, respetando la tolerancia de la Norma API 5LX; para espesores superiores, se ha recurrido a superficies interiores lisas y escasas tolerancias con la finalidad de asegurar los mínimos desligamientos entre las superficies internas de los tubos.

Se ha logrado una correcta ejecución de las soldaduras de cabeza de los diferentes elementos tubulares que constituyen la columna; corrección impuesta por las elevadas solicitaciones a que la estructura puede estar sometida.

5. Prefabricación y montaje

En la ejecución del Terminal de Trieste se ha empleado muchísimo la prefabricación, bien en taller o en obra. Por esto se han podido utilizar al máximo los medios marítimos para el montaje, reduciéndose al mínimo las operaciones en el mar; así resultan escasos los riesgos y pérdidas de tiempo derivadas de las condiciones atmosféricas adversas y se han podido programar y realizar tiempos de ejecución cortos.

Se ha hecho uso de la prefabricación, principalmente en tres sectores: 1) carpintería metálica —entrándose en las vigas de unión de las cabeceras de las columnas—, los amarraderos elásticos, las cabecezas de las fijas y las pasarelas; 2) elementos de hormigón pretensado del suelo de los muelles; 3) las plataformas y columnas tubulares de acero.

A propósito de éstas tenemos que decir que, después de la correspondiente investigación geológica, se ha obtenido la magnitud de asiento de cada columna, en relación con el tipo y naturaleza del esfuerzo transmitido y la naturaleza del terreno.

Por todo esto se ha procurado en la soldadura, tanto en taller como en obra, el dar la mayor longitud posible a los tubos compatible con los medios marítimos de colocación.

Soldadura de las columnas.



Las columnas de acero con $R_s \geq 36,6$ kilopondios/mm² que alcanzan en obra longitudes entre 44 y 46 m se han montado del siguiente modo: se ha soldado un grupo de tubos, cerca del taller de la Dalmine, hasta alcanzar longitudes de 23 m de máxima; éstas «semicolumnas» se han revestido sucesivamente, siempre en taller, con el ciclo de operaciones antes descrito, y más tarde, por ferrocarril, enviadas a la obra de Trieste. Aquí han llegado los tubos necesarios para completar la columna, y con ellos, a la vez que evoluciona la preparación en taller de las «semicolumnas», se hacen las semicolumnas complementarias. Más tarde se sueldan las dos semicolumnas para completar cada columna, con los convenientes cierres; más tarde es llevada al mar, y sacada del pontón para enclavarla en el sitio apropiado por medio del pilón.

Las columnas de acero con $R_s \geq 44$ kp/mm², que tenían una longitud en obra de unos 40 a 60 m, se han hecho a base de dos semicolumnas en taller (una de ellas revestida sucesivamente); más tarde en la obra se realizó la conjunción de los dos elementos.

Como el total asciende a 435 columnas —más de 5.000 t en conjunto— se aprecia que ha sido posible asegurar el abastecimiento continuo a la sección de montaje en el mar gracias a una perfecta organización.

Se han adoptado muchos y diversos procedimientos para el asiento de las columnas con $R_s \geq 36,6$ y $R_s \geq 44$ kp/mm², y esto queda justificado por la variedad de métodos de soldadura en relación, a su vez, a los diversos análisis de los aceros y por los varios tipos de esfuerzos a que están sometidas las columnas en ejercicio.

Para los tubos de acero con $R_s \geq 36,6$ —clásico acero al carbono— que se emplean en estructuras solidadas estáticamente, se ha adoptado la preparación con biselado en V de 37° 30' con soldadura en el exterior.

El procedimiento de soldadura se compone de, en taller, de dos pasadas al arco eléctrico manual: la primera con electrodo celulósico (ASTM A 233 E 6 010) y la segunda con electrodo básico (ASTM E 7 018); las pasadas de relleno y acabado se han hecho con arco sumergido (hilo SIDERFIL M 2, flujo SIDER-FLUX SB).

En la obra, las soldaduras se han efectuado con arco eléctrico manual, usando, para la primera pasada, electrodos celulósicos (ASTM E 7 010), y para la segunda, de relleno y acabado, electrodos básicos (ASTM E 7 018).

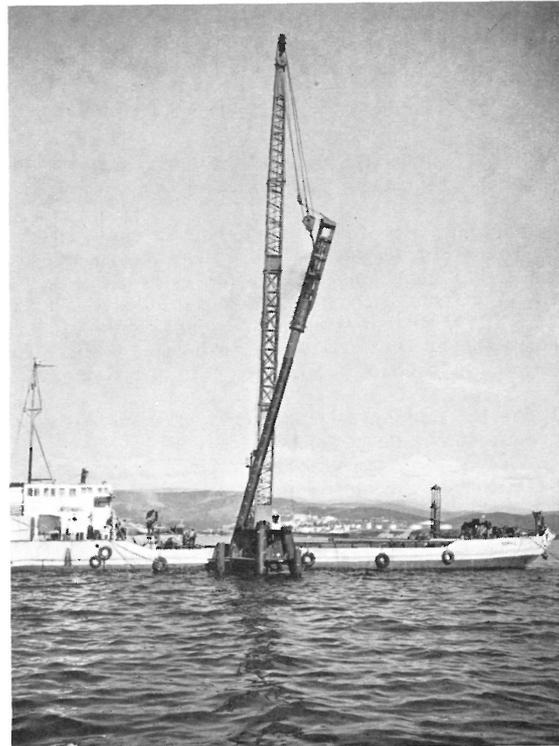
Las pasadas manuales se han efectuado con procedimiento ascendente y usando a la vez dos soldaduras. No se ha hecho ningún precalentamiento, operando siempre a temperatura mayor de + 5° C.

Tratándose de espesores delgados (≤ 14 mm), la alineación de la superficie interna de los bordes se ha realizado mediante el uso de acoplatubos, excluyendo el punteado a fondo.

Parte de la soldadura se ha llevado a cabo en taller con la finalidad de que aquí se haga el revestimiento de la semicolumna, que ha sido efectuado en ambiente acondicionado, como se ve en el siguiente párrafo.

El problema más complicado se ha presentado para el caso de tubos de acero con $R_s \geq 44$ kp/mm².

El procedimiento de soldadura adoptado preveía el precalentamiento de la extremidad (a 150° C) y el tratamiento térmico de la soldadura (de 600° a 620° C, con velocidad de 200° a 250° C a la hora). Después que todos los tubos han sido destinados a los amarraderos elásticos y, por tanto, sometidos a fatiga, se ha previsto la primera pasada al interior del biselado; la segunda vuelve a ser en el exterior, previa cinceladura de la raíz de la primera.



Colocación de las columnas.

Con todo esto se ha logrado efectuar el mayor número posible de uniones en taller que, siendo particularmente dispuestas, dan el máximo de seguridad.

Para el conjunto de operaciones de la unión en obra de las dos semicolumnas —que ha tenido que hacerse así por exigencias del transporte— se ha respetado el mismo procedimiento que en el taller; la única diferencia que se ha hecho es la siguiente: en taller, la primera pasada (interna) es manual con electrodo celulósico ASTM A 316 E 7 010 A1; la segunda (externa) con electrodo básico ASTM A 316 E 9 018 D1, y relleno y acabado en arco sumergido (hilo EMS 2 140, flujo SIDERFLUX SB); en obra, la primera pasada (interna) se ha hecho con electrodo celulósico (ASTM E 7 010 A1) y la segunda pasada (externa), de relleno y acabado, con electrodo básico (ASTM E 9 018 D1).

Todas las soldaduras empleadas, así como los procedimientos adoptados, se han realizado siguiendo las prescripciones de la Norma API 1 104.

Se ha hecho un control con rayos X al 100 por 100 de las soldaduras de los tubos para los amarraderos elásticos, fijos y plataformas, y al 50 por 100 para los tubos de los muelles; en todo caso se ha seguido el criterio de la API 1 104.

6. Protecciones

Como protección de las columnas y de las estructuras metálicas portantes, se han llevado a cabo revestimientos y barnizados a base de barnices de resina epoxi.

Para las columnas se han adoptado las siguientes protecciones:

- a) Zona comprendida entre la extremidad inferior de la columna y hasta 2 m bajo el fondo marino: bruta.
- b) Zona comprendida entre los 2 m bajo el fondo del mar hasta cerca de 2 m bajo el nivel medio del mar (constantemente sumergida):
 - baño de arena de metal blanco;
 - aplicación del primer barniz alquitrán-resina (espesor mínimo de la película seca: 20 μ);
 - envoltura con tejido de vidrio impregnado de barniz (espesor mínimo de la capa seca: 300 μ).

El espesor mínimo del revestimiento seco es de 320 μ .

- c) Zona comprendida entre casi 2 m bajo el nivel medio del mar hasta la extremidad superior de la columna (zona de viento y agua y sujeta a salpicaduras):
 - baño de arena de metal blanco;
 - aplicación del primer c. s. (espesor mínimo de la película seca: 20 μ);
 - aplicación de la capa de barniz alquitrán-resina (espesor mínimo de la capa seca: 130 μ);
 - envoltura c. s.

El espesor mínimo de la capa del revestimiento seco es de 450 μ .

El revestimiento se ha llevado a cabo en taller sobre la semicolumna; para favorecer la polimerización del barniz empleado se han realizado dos ambientes (de barnizado y de acondicionado) mantenidos permanentemente y respectivamente a 20° y 30° C.

Después de acondicionar todo el revestimiento de la semicolumna, se ha efectuado el control del espesor (con instrumental electromagnético) con revelador de chispa destarada a 2,5 kV/mm.

Los materiales elegidos y las modalidades de aplicación han permitido realizar un revestimiento continuo, uniforme y adherente.

Más tarde se ha aplicado a todas las semicolumnas la protección catódica para la que, gracias a la cualidad dieléctrica del revestimiento, se prevé un coste bajo.

Toda la envoltura se ha previsto para evitar que durante los golpes de pílón, particularmente con baja temperatura ambiental, surja el agrietamiento del barniz y se reduzca su poder aislante, con perjuicio de la protección catódica.

Todas las estructuras metálicas instaladas por encima de las extremidades superiores de las columnas se han revestido en obra de la siguiente manera:

- a) Estructuras de los enganches, amarraderos, plataformas (zonas sujetas a salpicaduras):
- cepillado mecánico de la superficie;
 - aplicación del primer barniz alquitrán-resina (espesor mínimo de la película seca: 20 μ);
 - aplicación de dos manos de barniz alquitrán-resina (espesor mínimo de la capa seca: 200 μ).

El espesor mínimo del barnizado seco es de 220 μ .

- b) Pasarelas, pasamanos de las plataformas, muelles (estructuras aéreas):
- cepillado mecánico de la superficie;
 - aplicación del primer barniz (espesor mínimo de la película seca: 20 μ);
 - aplicación de dos manos de barniz resina-aluminato (espesor mínimo de la película seca: 50 μ).

El espesor mínimo del barnizado seco es de 70 μ .

Los sistemas de protección elegidos, las características y calidades de los materiales empleados y la escrupulosa observancia de las normas, han permitido realizar una protección apta para conservación de las estructuras en un ambiente que es francamente desfavorable (el ambiente marino).

résumé • summary • zusammenfassung

Terminus à Trieste de l'oléoduc transalpin

Giancarlo Mannucci, Dr. ingénieur

Cet article fait mention de l'emploi, avec d'heureux résultats, de l'acier et des éléments préfabriqués de la structure, même si l'ouvrage se trouve dans un milieu hostile à ces matériaux: la mer.

Les systèmes de soudure utilisés pour l'assemblage des éléments tubulaires, ainsi que la protection adoptée pour la structure, dans un milieu si agressif, son très intéressants.

Trieste terminal of the transalpine oleoduc

Giancarlo Mannucci, Dr. engineer

In this article emphasis is placed on the successful use of steel and of prefabricated structural parts, although the project is situated within a hostile environment for such materials, namely, the sea.

The article also indicates the interesting varieties of welding that have been utilised in the fabrication of the tubular parts, and also the types of protection adopted for the structure, to defend it from the highly aggressive medium.

Terminal der trasalpine Ölleitung in Trieste

Dr. Giancarlo Mannucci, Ingenieur

In diesem Artikel wird auf die gelungene Anwendung von Stahl und vorgefertigten Teilen aufmerksam gemacht, die für dieses Bauwerk verwendet wurden, obwohl es sich in einer diesen Materialien feindlich gesonnenen Umgebung —dem Meer— befindet.

Interessant ist die Art und Weise der Verlötung der einzelnen Rohrelemente, sowie der Schutz, der für das Bauwerk in einer solch aggressiven Umgebung verwendet wurde.