Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

NOVA TECNOLOGIA UTILIZADA PARA REVESTIMENTO ANTICORROSIVO E ISOLAMENTO TÉRMICO DE JUNTAS DE CAMPO EM DUTOS SUBMARINOS

Bruno R. M. Cunha[1], Fabio B. Azevedo [2], Alexsander C. Piske[3]

Abstract

Since the early days of the Oil and Gas Industry, the issue of producing and transportation of heavy oil (high API grade) have been consuming several Engineering Hours in order to develop more efficient thermal insulation systems. The PDEG-B project pipelines connecting the oil and gas production of the Marlim and Roncador fields employed the state of the Art in terms of insulation material for the pipelines and the Field Joints.

The article presents an innovative process for field joint coating application and thermal insulation by injection moulded for the above pipelines. In addition it will be presented the methodology to qualify the anticorrosion and thermal insulation field joint coating.

Resumo

Desde o início da indústria do petróleo, o problema de se produzir e transportar óleo de alto grau API tem consumido horas de engenharia no sentido de se desenvolverem sistemas de isolamento térmicos cada vez mais eficientes. Nos Dutos do projeto denominado PDEG-Profundo fase B foi utilizado o estado da arte na instalação de Dutos Submarinos que operam em condições de escoamento de óleo a alta temperatura e gás em águas profundas interligando a produção dos campos de Marlim Leste, Marlim Sul e Roncador, para posterior escoamento da produção para a PRA-1.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um processo inovador para aplicação de revestimento anticorrosivo e isolamento térmico em juntas de campo, por injeção em molde sob pressão, para os dutos acima citados. Será também detalhada a metodologia utilizada para especificar e qualificar este processo de revestimento anticorrosivo e isolamento térmico.

Palavras-chave: corrosão, revestimento, junta de campo e Dutos Submarinos

1 Mestre, Engenheiro de Equipamentos - PETROBRAS
2 Mestre, Engenheiro de Equipamentos - PETROBRAS
3 Mestre, Engenheiro de Equipamentos - PETROBRAS

Introdução

Com a evolução da indústria do petróleo no sentido da exploração e produção “offshore” e, cada vez mais, na direção de águas profundas, surge a necessidade de se desenvolver materiais e sistemas de isolamento com baixa condutividade térmica e grande resistência mecânica. Este é o desafio atual pois, como é sabido, a densidade dos materiais isolantes influencia diretamente na resistência mecânica e condutividade térmica dos mesmos. Ou seja, quanto mais denso o material, maior sua resistência mecânica, porém maior será sua condutividade térmica.
Quanto ao sistema anticorrosivo, a ser aplicado diretamente sobre a superfície metálica do tubo, este deve apresentar características excelentes de proteção anticorrosiva e ainda ter perfeita compatibilidade com o isolamento térmico a ser aplicado sobre a sua superfície.

Esse trabalho tem como objetivo detalhar a utilização de sistemas anticorrosivos e de isolamento térmico para juntas de campo de dutos submarinos, na indústria do petróleo, especificamente na área de produção e transporte do óleo e gás. Este sistema de revestimento anticorrosivo foi especificado e aplicado nos dutos do projeto PDEG-B. Os sistemas utilizados representam o estado da arte em revestimentos para dutos Submarinos.

O Projeto PDEG-Profundo fase B,inclui os seguintes dutos submarinos: Gasoduto 10pol P-53/P-26 (Marlim Leste); Gasoduto 12pol P-51/PLEM-BR-1(Marlim Sul); Oleoduto 12pol P-53/PRA-1 (Marlim Leste); Oleoduto 12pol P-51/PRA-1 (Marlim Sul); Oleoduto 12pol P-51/P-38 (Marlim Sul); Gasoduto 10pol P-54/PLAEM-1 (Roncador Oeste).

A instalação dos dutos visou atender o escoamento/interligação de gás e óleo dos campos de Barracuda, Marlim Sul, Marlim Leste e Roncador. Estes dutos foram instalados em lâminas de água que variam entre 100m e 1400m e, neste caso, foi selecionado o método “Reel-Lay” para o lançamento dos dutos.

Os campos de Barracuda, Marlim Sul, Marlim Leste e Roncador estão situados na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, a aproximadamente 100km da costa. Ver nas ilustrações do anexo o diagrama esquemático dos dutos.

Fundamentos Teóricos e Definições

Definição de termos utilizados nos sistemas propostos.

Lâmina de Água (LDA). Distância entre a superfície do mar e o solo marinho.
“Fusion Bonded Epoxy” (FBE). Material epoxy utilizado como anticorrosivo para dutos submarinos.
“Overall Heat Transfer Coeficient” (OHTC). Inerente ao sistema de isolamento térmico proposto. Mede a transferência de calor global de um sistema térmico.
Condutividade térmica (k). Inerente aos materiais e componentes do isolamento térmico proposto. Deve atender ao OHTC especificados.
Espessura (mm). Característica importante que influi diretamente no diâmetro externo do duto que por sua vez influencia nas condições e recursos necessários à instalação. Deve ser o mínimo necessário de forma a atender ao OHTC especificado.
Resistência à compressão. Característica importante para dutos que operam em águas profundas devido à pressão hidrostática. Sistemas de isolamento térmico com pouca resistência

à compressão em lâminas d'água profundas, aumentam significativamente a densidade e conseqüentemente a condutividade térmica.
Densidade. Característica que influencia diretamente a resistência mecânica e condutividade térmica.
Estabilidade térmica. Os materiais de revestimento devem manter suas características dentro dos limites de temperatura especificados.
Resistência à água e à temperatura elevada. Característica que confere ao sistema de isolamento térmico, resistência à degradação provocada pela absorção de água e a transmissão de vapor d'água.
Aderência. A preparação do substrato, o método de aplicação e as características dos materiais devem garantir a aderência dos sistemas anticorrosivo e de isolamento térmico. Durante o lançamento do duto, os tensionadores da embarcação lançadora sustentam o duto atuando diretamente no anticorrosivo e/ou isolamento térmico.
Resistência mecânica. Característica que confere ao sistema sua capacidade de resistir às diversas solicitações mecânicas durante a construção, transporte, instalação e operação durante a vida útil do duto. As mais significativas são a compressão, abrasão, "creep", cisalhamento, tensão de ruptura e alongamento.

Nomenclatura

U – Coeficiente Global de Transmissão de Calor
(W/m^2K);
PP – Polipropileno;
PE – Polietileno;
PU – Poliuretano;
"Reel-Lay" – Método de Lançamento de Dutos Submarinos;
DSC – "Differential Scanning Calorimetry"
Junta de Campo – Espaço entre 2 tubos necessário a execução da solda de campo.
"Tension Machine" – Equipamento que aplica tração ao duto durante a sua instalação.

Histórico

Atualmente o Fusion Bonded Epoxy (FBE) vem sendo utilizado largamente como aplicação anticorrosiva para dutos submarinos. Quanto ao isolamento térmico, atualmente, podemos citar o polipropileno sólido (PP) e espumas, o poliuretano sólido (PU) e espumas, e ainda os materiais sintáticos, que incluem em sua estrutura básica (PP ou PU) uma dispersão de micro esferas ocas de vidro ou cerâmica.

O sistema de revestimento anti-corrosivo das juntas de campo dos gasodutos e oleodutos inicialmente previsto estava baseado na utilização de mantas termo-contrácteis. Diversos tipos de mantas existem atualmente para utilização de acordo com cada cenário especifico. Neste projeto foram selecionadas mantas, para as juntas de campo de tie-in onshore e offshore, que viessem a reproduzir as características anti-corrosivas dos tubos.

Para os gasodutos foram selecionadas mantas termo-contrácteis em 3 camadas, sendo a primeira camada composta de primer epoxy, a segunda camada composta de adesivo compatível e a terceira camada de Polietileno.

Para os oleodutos também foram selecionadas mantas termo-contrácteis em 3 camadas, sendo a primeira camada composta de “primer” epoxy, a segunda camada composta de adesivo compatível e a terceira camada de Polipropileno ou Polietileno modificado.
Este sistema de uso de mantas termo-contrácteis é bastante utilizado na Petrobras estando devidamente qualificado.

Para os oleodutos e visando garantir o isolamento térmico nas juntas de campo, de acordo com requisitos do projeto, foi especificado o uso de Poliuretano sólido, para o preenchimento do espaço da junta de forma a completar 50mm de espessura.
Este sistema de revestimento anti-corrosivo e isolamento térmico, para os oleodutos, já foi utilizado anteriormente na Petrobras e foi submetido e aprovado em testes de qualificação.

As figuras ilustrando os sistemas abordados neste item se encontram no ANEXO. Mantas termocontrácteis e juntas de campo com poliuretano de alta densidade para isolamento térmico são apresentadas no ANEXO.

O sistema de isolamento térmico das juntas de campo visa manter e reproduzir as propriedades requeridas ao isolamento térmico dos tubos tanto nas condições operacionais quanto de instalação. Temos as seguintes características para o Poliuretano.

- Moderada perda de calor na junta sendo a condutividades térmica (k) do Poliuretano sólido de 0,19 W/m.K, valor este ligeiramente inferior ao polipropileno;
- Moderada compatibilidade entre os materiais PP e PU o que requer cuidados especiais durante o processo produtivo;
- Adequabilidade à temperatura de operação dos dutos de até 88°C;
- Adequabilidade a operação na água do mar com temperaturas de até 4°C;
- Boa resistência à pressão hidrostática correspondente a 2000m de lâmina d’água;
- Boas propriedades mecânicas do material capazes de resistir aos esforços de lançamento dos dutos pelo método “Reel-Lay”;
- Facilidade de aplicação;

Revestimento Anticorrosivo/Térmico dos Tubos

O sistema de revestimento anticorrosivo dos tubos dos gasodutos e oleodutos é composto basicamente por uma camada de FBE na espessura de 120µm, a qual está sobreposto uma camada de adesivo de 200µm e ainda sobre esta última temos uma camada de Polietileno ou Polipropileno sólido de 3mm, conforme seja um gasoduto ou oleoduto. Este sistema de revestimento para proteção anticorrosiva é denominado de Polietileno em 3 camadas ou Polipropileno em 3 camadas.

Os oleodutos recebem sobre o sistema anti-corrosivo de proteção o isolamento térmico. O sistema de isolamento térmico dos oleodutos é composto de 50mm de Polipropileno sólido aplicado diretamente sobre o sistema anti-corrosivo. Para este projeto foram utilizados dois tipos de Polipropileno sólido. O PP chamado “virgem”, isto é sem aditivos e o PP que contém aditivo para proteção contra UV (ultra-violeta). O PP virgem foi aplicado diretamente sobre a camada de adesivo, já fazendo parte então do sistema anti-corrosivo. Diversas camadas de PP

virgem foram aplicadas sucessivamente completando uma espessura de pelo menos 45mm. Sobre este sistema e completando o sistema de isolamento térmico foi aplicado a última camada de PP estabilizado a UV em uma espessura de pelo menos 5mm, completando desta forma a espessura final e total de 50mm.

Propriedades do Isolamento Térmico dos tubos

Objetivando garantir a conformidade do sistema de isolamento térmico dos oleodutos as condições de projeto e operacionais, foram verificadas as seguintes características do sistema para o PDEG-Profundo:

- Moderada perda de calor que se situa entre 3 a 6 W/m^2 °K;
- Adequabilidade à temperatura de operação dos dutos de até 88°C;
- Adequabilidade a operação na água do mar com temperaturas de até 4°C;
- Boa resistência à pressão hidrostática correspondente a 2000m de lâmina d'água;
- Boas propriedades mecânicas do material capazes de resistir aos esforços de lançamento dos dutos pelo método "Reel-Lay";
- Processo fabril de aplicação deve apresentar qualidade boa para os diâmetros especificados;
- Custo compatível;

A condutividades térmica (k) do Polipropileno sólido é de 0,22 W/m.K. A estabilidade térmica do sistema é boa, podendo ser utilizado em temperaturas de operação de até 115°C.

Sistema Inovador para Aplicação de PE /PP, por Injeção sob pressão, na Junta de Campo

Objetivando acompanhar o estado da arte no desenvolvimento de revestimentos para dutos submarinos e implementar a qualidade do sistema de revestimento, foi estudado a aplicação para este projeto, do sistema de revestimento de junta de campo por injeção sob pressão "injection moulding".

Este sistema consiste na injeção sob pressão, diretamente na junta de campo dos materiais Polietileno ou Polipropileno, conforme o caso, visando dessa forma manter as características e propriedades do revestimento original dos tubos. A grande vantagem desse sistema de revestimento está na perfeita compatibilidade entre o material de revestimento da junta de campo e o material de revestimento dos tubos, uma vez que estes são praticamente idênticos. Dessa forma podemos evitar as chamadas "emendas" entre materiais dissimilares.

Para o revestimento anticorrosivo e térmico dos oleodutos temos a seguinte composição para o sistema:

- Aplicação de FBE na espessura de 300µm;
- Aplicação de adesivo na espessura de 300µm;
- Aplicação de PP, sob pressão, na espessura correspondente ao revestimento anticorrosivo e térmico do tubo, com sobreposição de 5mm.

Qualificação do Sistema aplicado por Injeção sob pressão na Junta de Campo

Visando garantir a qualidade do revestimento aplicado nas juntas de campo, nas condições operacionais e de instalação, todo o sistema foi submetido a uma bateria de testes de qualificação antes da sua utilização nos dutos do PDEG-Profundo. Esta é a prática usual da Petrobras que tem como objetivo obter produtos de qualidade em seus dutos submarinos.

Neste caso tivemos dois sistemas de revestimento que utilizaram materiais distintos, logo a qualificação foi desenvolvida independentemente para os dois sistemas. Sistema anticorrosivo com aplicação de PE e sistema anticorrosivo e térmico com aplicação de PP.

Antes de iniciar a qualificação do sistema propriamente dito foi desenvolvido estudo para se verificar a real pertinência e a aplicabilidade do sistema proposto ao projeto do PDEG-Profundo. Esta fase foi composta basicamente de estudos do sistema de aplicação e da adequabilidade dos materiais ao processo. Também foram feitas visitas e avaliações técnicas do sistema em funcionamento. Foi ainda levantado o histórico e a aplicação desse sistema em projetos similares no mundo, para dutos submarinos.

Após a verificação da adequabilidade do sistema de revestimento proposto iniciou-se a segunda fase que incluiu a elaboração da documentação e a execução dos testes de qualificação. A documentação desenvolvida foi: uma especificação técnica para o revestimento de PE e idem para o revestimento de PP, um procedimento de aplicação para o revestimento de PE e idem para o PP e um plano de inspeção e testes para o revestimento de PE e idem para o PP.

Todos os documentos foram analisados e discutidos extensivamente e uma vez acordados entre as partes foi iniciada a fase de execução de testes de qualificação. Em seguida os sistemas de revestimento foram submetidos a testes de qualificação

Testes de Qualificação do Sistema aplicado por Injeção sob pressão na Junta de Campo

Os principais testes de qualificação realizados seguem listados abaixo.

Qualidade das matérias primas compradas.

Verificação da presença de contaminantes nos tubos e abrasivos

Verificação das condições ambientais

Verificação de condições da Junta de Campo após jato abrasivo

Limpeza do PE aplicado

Verificação da espessura do FBE e do Adesivo aplicado

Teste de aderência do FBE aplicado

Verificação do grau de cura do FBE aplicado

Verificação da espessura e sobreposição do PE aplicado na junta de campo

Teste de aderência do PE aplicado na junta de campo

Teste de Holiday Detector (descontinuídades elétricas) no revestimento

Teste de dureza do PE após a aplicação

Ensaio de resistência ao impacto do revestimento aplicado

Ensaio de resistência à ruptura e alongamento do revestimento aplicado

Ensaio de deformação por carga pontual do revestimento aplicado

Ensaio de descolamento catódico do revestimento aplicado

Verificação da capacidade de dobramento do revestimento a baixa temperatura

Verificação da capacidade de dobramento da junta de campo em escala real

Este teste visa simular as condições reais a que o revestimento da junta de campo é submetido durante a fase de enrolamento no tambor do barco instalador e posterior retificação, uma vez que para este projeto foi selecionado o método "Reel" para instalar os dutos. São simulados quatro ciclos completos de dobramento de duas juntas de campo. Não pode ocorrer descolamento ou enrugamento do revestimento.

Verificação do envelhecimento do revestimento

O revestimento é submetido a envelhecimento em 100°C durante 10 dias e depois o PE é submetido ao teste "melt fow index" objetivando verificar a integridade das cadeias moleculares do polietileno envelhecido.

Testes de Qualificação do Sistema de Revestimento da Junta de Campo em PP

A qualificação desenvolvida para o revestimento da junta de campo em PP foi similar a qualificação da junta de campo em PE, sendo que alguns testes adicionais foram realizados, uma vez que os tubos revestidos com anticorrosivo em polipropileno possuem também 50m de isolamento térmico em PP sólido. Conforme já explicado, neste caso, foram utilizados dois tipos de polipropileno. O PP virgem e o PP estabilizado. O PP estabilizado foi aplicado na última camada com 5mm de espessura.

Todos os testes executados para a qualificação do PE também foram aplicados e repetidos para a qualificação do revestimento de PP sendo que ainda foram acrescentados os seguintes testes.

Verificação da aderência do PP aplicado na junta de campo

Para verificar a aderência do sistema PP aplicado sobre o aço é executado o teste de arrancamento "pull-off test" de seção do revestimento da junta de campo a 23°C e a 80°C. Devido a espessura do revestimento aplicado o teste de aderência convencional não pode ser aplicado.

Verificação da capacidade de dobramento da junta de campo de PP em escala real

Este teste visa simular as condições reais a que o revestimento da junta de campo é submetido durante a fase de enrolamento no tambor do barco instalador e posterior retificação. Neste caso foram realizados o dobramento de 3 tubos, sendo que cada tubo contém 2 juntas de campo aplicadas em um total de 6 juntas revestidas. Duas juntas continham um tipo de dispositivo para soldagem de anodo, duas outras juntas continham outro tipo de dispositivo para soldagem de anodo e finalmente duas juntas convencionais. Foram simulados quatro ciclos completos de dobramento de cada uma das juntas de campo. O critério de aceitação indica que não pode ocorrer descolamento ou enrugamento do revestimento.

Verificação da capacidade de carga axial ("shear test") da junta de campo em escala real

Este teste visa simular as condições reais a que o revestimento da junta de campo é submetido durante a fase de lançamento do duto pelo barco instalador. Nesta fase são aplicadas trações nos tubos de forma a manter a geometria da catenária do duto controlada. A tração é aplicada pela "tension machine" do barco instalador diretamente sobre o revestimento dos tubos, e é o revestimento que transmite os esforços para todo o duto durante a fase de lançamento.

De forma a simular estes esforços o revestimento da junta de campo é submetido ao "shear test" em escala real do tubo revestido, porém à força é aplicado fator de escala em função das dimensões da amostra. Esta força, no entanto, representa a tensão real aplicada durante o lançamento. O critério de aceitação indica que não pode ocorrer deslizamento do revestimento da junta de campo.

Conclusões

A execução dos testes de qualificação e a análise de seu resultados, mostrou que o emprego dessa nova tecnologia no revestimento de juntas de campo de dutos submarinos trouxe ganhos significativos na qualidade do revestimento dos dutos.

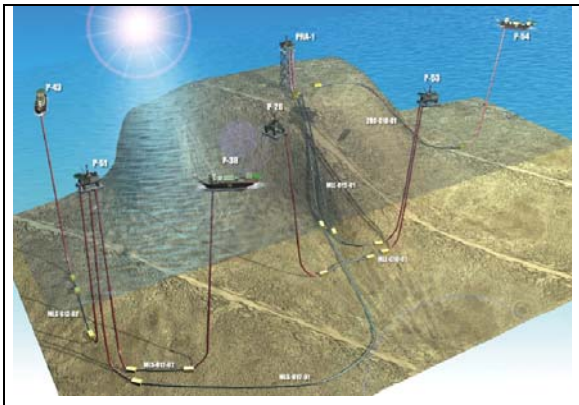
Os resultados dos testes de qualificação mostraram que a qualidade do revestimento aplicado nas juntas de campo se mostrou superior a tecnologia anteriormente empregada.

Todo o revestimento se mostrou mais homogêneo e continuo uma vez que foi eliminado o emprego de materiais dissimilares.

O uso desse tipo de tecnologia deve ser incentivado em futuros projetos.

ANEXOS

Ilustrações do processo de Qualificação dos Revestimentos

	
Descrição geral do Projeto PDEG-B	Junta de campo de PE injetado em molde

Stalks com Juntas de Campo de PP injetado em Molde	Junta de campo de PU injetado em molde

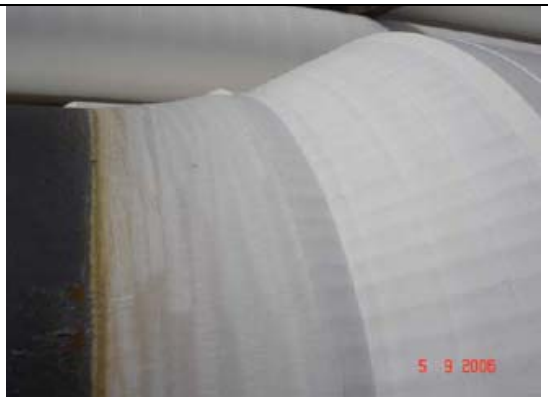
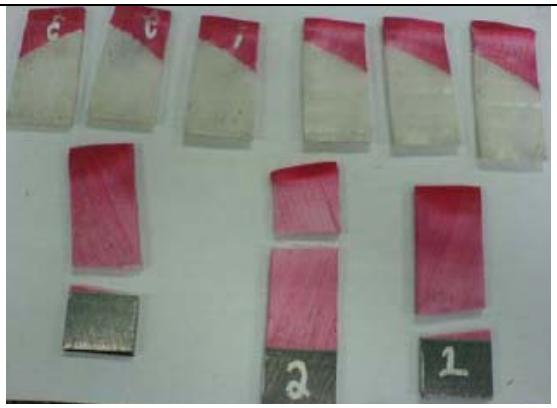
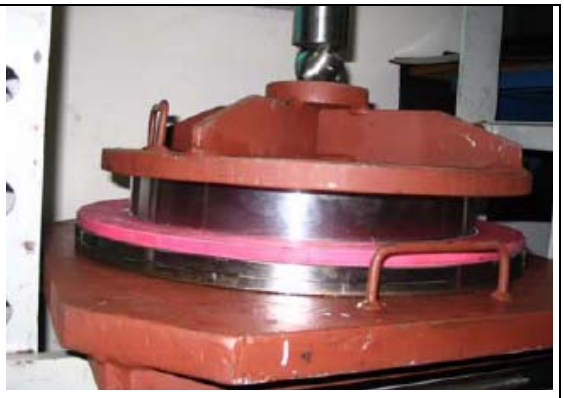


Ilustração de PP Virgem e PP Modificado	Aplicação do FBE

Aquecimento da região de PP de forma a preparar o PP que receberá o PP injetado em molde	Aplicação do PP injetado em molde

	
Teste de qualificação – Aderência entre as camadas	Teste de qualificação – Shear Strenght

Instalação do Duto revestido em PE tripla camada com as juntas de campo em PE injetado	Instalação do Duto revestido em PP 5 camadas com as juntas de campo em PP injetado

Referências bibliográficas

[1] – I-ET-3903.04-6500-940-SZS-033 – Technical Specification for Injection Moulded Polyethylene Field Joint Coatings
[2] – I-ET-3903.04-6500-940-SZS-041 – Injection Moulded PE Field Joint – Application and Repair Procedure
[3] – I-ET-3903.04-6500-970-SZS-040 – Inspection and Test Plan - Injection Moulded Polyethylene Field Joint Coating
[4] – I-ET-3903.04-6500-940-SZS-141 – Thermal Insulation Field Joint Coating Specification
[5] – I-ET-3903.04-6500-970-SZS-029 – Inspection and Test Plan – Thermal Insulation Field Joint Coating
[6] – DNV-OS-F101 – Submarine Pipeline Systems – October 2005
[7] – ISO 8501-1 - Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness.
[8] – ISO 8502-3 - Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Tests for the assessment of surface cleanliness - Part 3: Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (pressure-sensitive tape method).
[9] – ASTM D257 Standard test method for DC resistance or conductance of insulating materials
[10] – ASTM D638 Standard test methods for tensile properties of plastics
[11] – ASTM D746 Standard test methods for brittleness temperature of plastics and elastomers by impact.
[12] – ASTM D790 Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials
[13] – ASTM D792 Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement
[14] – ASTM D1238 Standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer
[15] – ASTM D1525 Standard test method for Vicat softening temperature of plastics
[16] – ASTM D1603 Standard test method for carbon black in olefin plastics
[17] – ASTM D1693 Standard test method for environmental stresscracking of ethylene plastics
[18] – ASTM D2240 Standard test method for rubber property – durometer hardness
[19] – ASTM D3349 Standard test method for absorption coefficient of ethylene polymer material pigmented with carbon black
[20] – ASTM D3418 Standard test method for transition temperatures of polyolefins by differential scanning calorimetry
[21] – ASTM G42 Test Method for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings Subjected to Elevated Temperatures.
[22] – ISO 8502-6 Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Tests for the assessment of surface cleanliness - Part 6: Extraction of soluble contaminants for analysis - The Bresle method ISO 8503-1 Preparation of steel substrates before application of paints and related products - surface roughness characteristics of blast cleaned surfaces - Part 1 - Specification anddefinitions for ISO profile comparators for the assessment of abrasive blast cleaned surfaces.
[23] –ISO 8503-4 Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Surface roughness characteristics of blast cleaned steel substrates - Part 4: Method

for the calibration of ISO surface profile comparators and for the determination of surface profile - Stylus instrument procedure
[24] – CAN/CSA Z245.20-02 Canadian Standard: External fusion bonded epoxy coating for steel pipe
[25] – CAN/CSA Z245.21-02 Canadian Standard: External polyethylene
[26] – DIN 30670 Polyethylene coatings for steel pipes and fittings
[27] – NFA 49710 French Standard: Steel Tubes – External threelayer polyethylene-based coating – Application by extrusion
[28] – NACE RP 0274 High-voltage Electrical Inspection of Pipeline Coatings
[29] – NACE RP 0188 Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates
[30] – SSPC-SP 1 Solvent Cleaning

* * *