



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

MEJORAS PARA LA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN LA ZONA SPLASH DE LOS PILOTES EN EL MUELLE DEL TERMINAL BAYÓVAR

Tania Moscol-Sandoval

Piura, julio de 2013

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Moscol, T. (2013). *Mejoras para la protección anticorrosiva en la zona splash de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar* (Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA



“Mejoras para la protección anticorrosiva en la zona *splash* de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar”

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico

Tania Elizabeth Moscol Sandoval

Piura, Julio 2013

A José Luis, Teresa y Consuelo, por su eterna paciencia y apoyo incondicional.

Indice

Introducción	1
Capítulo 1: Protección anticorrosiva para estructuras marinas	
1.1. Fundamentos teóricos	3
1.1.1. Corrosión	3
1.1.1.1. Definición	3
1.1.1.2. Tipos de corrosión	4
1.1.2. Corrosión Marina	5
1.1.2.1. Definición	5
1.1.2.2. Agua de mar	6
1.1.2.3. Factores que influyen en la corrosión marina	7
1.2. Tipos de protección anticorrosiva para estructuras marinas	10
1.2.1. Protección catódica	10
1.2.1.1. Protección catódica por corriente impresa	11
1.2.1.2. Protección catódica por ánodo de sacrificio	12
1.2.2. Revestimientos	13
1.2.2.1. Pinturas	13
1.2.2.2. Masillas	14
1.2.3. Otros sistemas	14
1.2.3.1. Sistema de enchaquetado de pilotes (<i>Pile shield system</i>)	14
1.2.3.2. Sistema Syntho shield	16
1.2.3.3. Sistema FX-70	18
1.2.3.4. Sistema Shaic & Stopaq	19
1.2.3.5. Sistema de encapsulamiento avanzado de pilotes (<i>Advanced pile encapsulation -APE-</i>)	22
1.2.3.6. Sistema Stopaq	26
1.2.3.7. Sistema Riserclad	29
Capítulo 2: Descripción de la condición actual de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar	
2.1. Sistema de protección catódica en el muelle del Terminal Bayóvar	31
2.1.1. Terminal Bayóvar	31
2.1.1.1. Especificaciones técnicas del muelle	32
2.1.1.2. Características del entorno marino	33
2.1.2. Reseña del sistema de protección catódica	34
2.1.2.1. F.A. Hughes&Co. Limited	34
2.1.2.2. Cayserv EIRL	36

2.1.2.3. SCADI – CPT	36
2.1.3. Descripción general del sistema de protección catódica	37
2.1.3.1. Transformadores rectificadores	37
2.1.3.2. Ánodos de protección catódica	37
2.1.3.3. Otros componentes del sistema	38
2.2. Situación actual de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar	39
2.2.1. Última inspección realizada	39
2.2.1.1. Descripción del estado corrosivo	40
2.2.1.2. Calibración de espesores	41
2.2.2. Medidas correctivas y preventivas llevadas a cabo	41
2.2.2.1. Enmasillado de pilotes	41
2.2.2.2. Monitoreo de potenciales	42
2.2.3. Condición actual de la zona <i>splash</i> en los pilotes	45

Capítulo 3: Pruebas de sistemas de protección anticorrosiva para estructuras marinas

3.1. Condiciones de las pruebas	47
3.1.1. Elección de pilotes a evaluar	47
3.1.2. Determinación de longitud a recubrir	48
3.2. Aplicación de sistemas de protección anticorrosiva	48
3.2.1. Sistema de enchaquetado de pilotes (<i>Pile shield system</i>)	49
3.2.2. Sistema Syntho shield	52
3.2.3. Sistema FX - 70	54
3.2.4. Sistema Shaic y Stopaq	58
3.2.5. Sistema de encapsulamiento avanzado de pilotes (<i>Advanced pile encapsulation -APE-</i>)	61
3.2.6. Sistema Stopaq	67
3.2.7. Sistema Riserclad	71

Capítulo 4: Evaluación técnico económica

4.1. Análisis y evaluación	76
4.1.1. Evaluación técnica	76
4.1.1.1. Evaluación de la aplicabilidad del sistema	76
4.1.1.2. Evaluación en laboratorio	84
4.1.2. Evaluación económica	103
4.1.2.1. Costo de materiales	103
4.1.2.2. Costo de instalación	106
4.2. Calificación de los sistemas	107
4.2.1. Calificación técnica	108
4.2.1.1. Calificación de la aplicación del sistema en campo	108
4.2.1.2. Calificación de la aplicación del sistema en laboratorio	108
4.2.2. Calificación económica	113
4.3. Resultados	113

Conclusiones y recomendaciones

Bibliografía

Anexo A: Plano de distribución de pilotes en el Terminal Bayóvar.

Anexo B: Tablas IMARPE 2012.

Anexo C: Hojas técnicas de productos evaluados.

Introducción

El problema de corrosión que se observa en los pilotes del muelle en el Terminal Bayóvar requiere una solución eficiente. La presente tesis busca determinar, cual es el sistema de protección más adecuado para controlar el deterioro por corrosión en la zona *splash* de los 180 pilotes que conforman el muelle, para lo cual se evaluarán siete sistemas de protección contra la corrosión aplicables a estructuras marinas, a modo de prueba en una instalación en campo y en probetas para laboratorio, además de una evaluación económica.

La investigación se divide en cuatro capítulos. Una parte teórica para el entendimiento fundamental de la corrosión y los sistemas de protección, sobre los cuales se harán la calificación, detallando los materiales que constituyen cada uno de los sistemas. Otra parte descriptiva de las instalaciones realizadas en el Terminal, donde se detalla la zona de trabajo, las condiciones bajo las cuales deben llevarse a cabo las pruebas y el procedimiento que se siguió para la aplicación de cada uno de los sistemas. Finalmente, la parte evaluativa y calificativa basada en los datos obtenidos como resultado de las pruebas a los productos, tanto en la aplicación en campo, como en laboratorio y en el ámbito económico.

En el primer capítulo se explican los fundamentos teóricos de corrosión y la corrosión marina, así como los tipos de protección anticorrosiva para estructuras marinas, haciendo referencia a los más convencionales como la protección catódica por ánodo de sacrificio o por corriente impresa, los revestimientos (pinturas y masillas) y otros sistemas existentes en el mercado (Enchaquetado de pilotes - *Pile shield system* -, Syntho shield, FX-70, Shaic & Stopaq, Encapsulamiento avanzado de pilotes - *Advanced pile encapsulation* -, Stopaq y Riserclad) los mismos que serán evaluados técnica y económicamente en la presente tesis.

Una descripción de la condición actual de los pilotes en el muelle del Terminal, se hace en el segundo capítulo. Detallando los datos del Terminal Bayóvar, la reseña y descripción del sistema de protección catódica del muelle. Además se describe la última inspección y las medidas preventivas y correctivas llevadas a cabo para controlar el avance corrosivo en los pilotes, finalmente se explica la condición actual de la zona *splash* en los pilotes, a la cual se busca plantear una solución eficiente y sustentable.

En el tercer capítulo se narran los lineamientos de las pruebas en campo y el lugar de trabajo. También se exponen las instalaciones piloto hechas en siete pilotes del Terminal, del sistema que proponen cada uno de los proveedores como solución a los requerimientos planteados previamente. Las aplicaciones en campo de los sistemas de protección anticorrosiva para estructuras marinas permitirán evaluar parámetros como las facilidades durante la instalación, la aplicabilidad, el desempeño de los sistemas, la compatibilidad con el medio ambiente y la logística necesaria para una eficiente instalación.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se precisa la evaluación técnica que comprende la valoración de la instalación del sistema en campo y en laboratorio. Describiendo los ensayos destructivos y no destructivos en laboratorio, donde se evaluaron, bajo estándares NACE y ASTM, las probetas revestidas con los sistemas aplicados a los pilotes, sometiéndolas a pruebas de adherencia, resistencia al impacto, desprendimiento catódico, absorción de agua, intemperismo acelerado y niebla salina. En la evaluación económica se consideran los costos de instalación, que implica el suministro de recursos, equipos y personal necesario, también los precios de los materiales, para una correcta aplicación del sistema en los 180 pilotes del Terminal Bayóvar, ello se hace en base a las cotizaciones referenciales de cada uno de los sistemas probados. Por último los resultados obtenidos en la evaluación técnica y económica se detallan cuantitativamente en tablas, datos que permitirán elaborar un ranking calificativo de los siete sistemas evaluados.

Capítulo 1

Protección anticorrosiva para estructuras marinas

1.1 Fundamentos teóricos

1.1.1 Corrosión

Toda estructura metálica en un medio electrolítico como el suelo o el agua, sufre con mayor o menor agresividad un ataque corrosivo que disminuye su integridad y capacidad inicial. Por ello debe lucharse para que los procesos sean más limpios, eficientes y rentables, y así lograr una vida sana en un medio cada vez más limpio. Con esta consigna es que actualmente viene desarrollándose la ingeniería de corrosión, que es la aplicación de la ciencia y el arte para prevenir o controlar económicamente, con seguridad y sin peligro, los daños de la corrosión.

La corrosión afecta a todos los materiales cualquiera sea el tipo de actividad o sector que se considere. Muchas de las pérdidas industriales se deben a la corrosión del fierro y del acero, aunque existen también otros metales que se corroen, como los plásticos que pueden hincharse o agrietarse y romperse, la madera abrirse o podrirse, el granito erosionarse, y el cemento Portland lixiviarse. Los daños causados por medios físicos no se denominan corrosión sino erosión, abrasión o desgaste. En algunos casos, el ataque químico va acompañado de daños físicos y entonces se denomina corrosión-erosión, desgaste corrosivo o corrosión por fricción; lo mencionado representa pérdidas cuantiosas que, para el caso del Perú, país en vías de desarrollo, se cifran en no menos del 8 % ¹del PNB.

1.1.1.1 Definición

Se define la corrosión como el daño que sufren los materiales por la acción del medio en que se encuentran, produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas y de resistencia, lo que da lugar a cambios en la geometría de la estructura y componentes que les hacen perder la función para la cual estaban determinados.

La oxidación de los metales se produce gracias a que termodinámicas los materiales buscan alcanzar condiciones estables; podemos entonces definir la corrosión como el proceso inverso a la metalurgia extractiva. Todos los procesos de corrosión se basan en equilibrios, si se ha alcanzado un equilibrio, se detiene el proceso de la corrosión, mientras que un equilibrio que evoluciona significa la continuación del proceso.

¹ Materiales: ROSARIO Francia, Samuel; YÁCONO Llanos, Juan Carlos. La corrosión, su tradición y alcance. Lima. [s. n.]. 7p.

La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas éstas anódicas y catódicas. Una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal.

1.1.1.2 Tipos de corrosión

Corrosión generalizada

Este tipo de corrosión involucra toda la superficie del metal y se aprecia en un adelgazamiento relativamente veloz de las paredes en contacto con el electrolito.

En el caso de materiales planos provoca un adelgazamiento uniforme; cuando se trata de barras o cables se produce radialmente, resultando una barra de menor diámetro y en el caso de tuberías sufren un adelgazamiento de un lado o ambos, según la exposición a la que se encuentren.

La corrosión generalizada podemos clasificarla en dos grupos:

- *Corrosión atmosférica*

Este tipo de corrosión es la que produce mayor cantidad de daños en el material. Automóviles, puentes o edificios están expuestas a la atmósfera y, por lo mismo, se ven atacados por oxígeno y agua. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro, y otros contaminantes atmosféricos, están presentes. Para un mejor entendimiento se divide según los ambientes atmosféricos en:

- Industrial: Contienen compuestos sulfurosos, nitrosos y otros agentes ácidos que promueven la corrosión de los metales. Además, los ambientes industriales contienen una gran cantidad de partículas aerotransportadas, lo que incrementa la corrosión.
- Marina: Se caracteriza por la presencia de cloruros, iones perjudiciales que favorece la corrosión de muchos sistemas metálicos.
- Rural: Produce la menor clase de corrosión atmosférica, caracterizada por bajos niveles de compuestos ácidos y otras especies agresivas.

- *Corrosión galvánica*

La corrosión Galvánica es uno de los tipos más comunes. Es una forma de corrosión acelerada que ocurre cuando metales diferentes (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito (una solución conductiva).

El ataque galvánico puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones. La corrosión galvánica algunas veces es severa cuando las películas protectoras de corrosión no se forman o son eliminadas por erosión.

Esta forma de corrosión es la que produce las celdas galvánicas. Cuando la reacción de oxidación del ánodo se produce, se desprenden electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal.

Corrosión localizada

Este tipo de corrosión involucra partes limitadas de la superficie del metal y se presenta con la formación de cavidades que dependen de la relación del diámetro externo/profundidad.

- *Corrosión por picaduras*

También denominada *pitting corrosion*, toma la forma de un ataque corrosivo y estrecho en profundidad, que causa una penetración rápida en el espesor de las paredes. Se produce en la superficie libremente expuesta, o en las imperfecciones de un recubrimiento o capa de protección.

Se establece un acoplamiento galvánico entre el interior de la picadura y la superficie inatacada. El interior es ácido con sales hidrolizadas que son más corrosivas que el resto del electrolito, creándose una zona anódica dentro del *pit*, y la superficie que lo rodea hace de cátodo.

Los iones de metales nobles son reducidos de la solución electrolítica, y se depositan en aquellas zonas expuestas del metal creando celdas galvánicas que promueven picaduras. Las fases precipitadas en la superficie de un metal pasivable crean zonas favorables a las picaduras debido a la discontinuidad en la capa de pasivación.

En flujos de soluciones corrosivas ocurren diferentes tipos de picaduras. La forma irregular del *pit* origina mayor turbulencia y cavitación que favorece el crecimiento y formación de nuevos puntos de ataque. El ataque puede ser localizado en los puntos de rotura de un recubrimiento sobre la superficie metálica.

- *Corrosión por agrietamiento*

Es un ataque intergranular, que sigue los bordes de grano sin afectar el propio grano en sí. Se produce por micropilas galvánicas entre el material del borde y el del interior del grano. La cantidad de material corroído es pequeña en comparación con la pérdida de resistencia mecánica que es considerable debido a las múltiples grietas que afectan el metal. El impacto de este ataque dependerá de las aleaciones y del tratamiento térmico al que se ha sometido el elemento. Es frecuente encontrar este tipo de corrosión en piezas calentadas o soldadas durante la fabricación, de las cuales recién se percibe el daño una vez producida la falla.

La combinación de acciones electroquímicas y mecánicas también producen agrietamiento, este es el caso de la corrosión bajo tensión y la fatiga con corrosión.

1.1.2 Corrosión Marina

Mientras que en el pasado solamente los barcos e instalaciones portuarias estaban expuestos al agua de mar, en la actualidad las estructuras marinas se extienden a todas aquellas empleadas en la exploración, uso y explotación del mar y su fondo (diques, boyas, plataformas flotantes, submarinos, torres de perforación, instalaciones offshore, etc.) sin olvidar las complejas instalaciones de ingeniería de potabilización del agua de mar o las que utilizan ésta con propósitos refrigerantes.

1.1.2.1 Definición

La corrosión marina es un proceso electroquímico, donde existe un flujo de electricidad de unas áreas a otras áreas de la superficie metálica a través del electrolito (agua de mar). La velocidad de corrosión guarda relación con el proceso anódico, el proceso catódico y la resistencia óhmica.

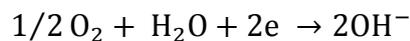
La reducción del oxígeno disuelto es el principal proceso catódico que se produce. La velocidad de corrosión es controlada por el transporte de oxígeno hasta el metal, el flujo de oxígeno depende de las condiciones hidrodinámicas determinadas por la velocidad media del agua, de sus propiedades y de la geometría de la estructura a corroer.

Cuando el fluido contiene partículas sólidas suspendidas, se produce una corrosión más grave por la acción abrasiva que tienen en relación a las capas superficiales. Los iones cloruros también confieren propiedades agresivas al ambiente marino, favoreciendo los procesos anódicos, formando con los iones de diversos metales, productos de corrosión solubles. Estos cloruros desarrollan una acción de “rotura local” y un debilitamiento de la capa de pasividad. Las disminuciones marcadas de pH como las que se producen en el interior de las cavernas, intersticios, bajo depósitos, etc. por la acidificación debido a hidrólisis, pueden provocar fuertes ataques localizados, por ejemplo, en agua de mar estancada.

1.1.2.2 Agua de mar

El agua de mar desempeña un papel muy importante en este fenómeno de corrosión; cubriendo los 2/3 de la superficie de la tierra, es el electrolito natural de mayor concentración salina. En los grandes océanos la salinidad expresada en gramos, contenida en 1 kg de agua de mar, está comprendida entre 33 y 37 ppm. El agua de mar con un contenido salino fijado comúnmente en un 3.5 %, deja un residuo sólido que contiene 79 % de NaCl y un 11 % de MgCl₂.

El agua de mar contiene disueltos los gases atmosféricos N₂, O₂ y CO₂, de ellos, el oxígeno desempeña un papel importante en la corrosión, propiciando la reacción catódica:



El dióxido de carbono disuelto en el agua de mar se haya en equilibrio con los iones bicarbonato, así como con el ácido carbónico e ion hidrógeno; este equilibrio tiene una marcada influencia en la formación de sedimentos calcáreos, los cuales incrementan la corrosión.

La inmensa superficie de contacto mar aire, el oleaje y la convección natural, incrementan la aireación del agua de mar, tornando más activa la función fotosintética de las plantas marinas; constituyéndose también, como un medio apto para el desarrollo de incrustaciones biológicas que, junto a las plantas marinas, pueden causar problemas de corrosión al fijarse en las estructuras o componentes metálicos que se hayan en contacto con el mar. Cuando se sumerge un cuerpo cualquiera en el mar, no tarda en cubrirse con el denominado “velo biológico” que retiene partículas minerales y orgánicas en suspensión en el agua, lo cual facilita la posterior fijación de organismos vegetales y animales que constituyen las incrustaciones biológicas, quienes ejecutan sus ciclos y una vez fijos crecen alcanzando un tamaño considerable.

La corrosión marina toma la forma de ataque localizado en algunas zonas de la estructura metálica; además se forman picaduras, corrosión en hendiduras, corrosión en forma de túnel, corrosión galvánica, corrosión bajo tensión, fatiga en corrosión, ataque por cavitación, ataque por choque y corrosión de una determinada fase del material.

1.1.2.3 Factores que influyen en la corrosión marina

Salinidad

La salinidad es el contenido de sólidos disueltos es decir, la cantidad total en gramos de sales presentes en un kilogramo de solución; en la mayor parte de aguas de mar, la relación entre las concentraciones de iones principales no varía significativamente, en correspondencia con descarga de ríos se produce una disminución de la salinidad. La variación de la salinidad está comprendida entre 33 y 37 partes por mil, considerando también las variaciones dependiendo de la ubicación geográfica y de las condiciones climatológicas.

La velocidad de corrosión depende del acceso del oxígeno a la estructura, al analizar el efecto de la salinidad en la corrosión hay que tener en cuenta su influencia en el contenido de oxígeno presente en el agua de mar.

La corrosión se incrementa al hacerlo la concentración salina de 1 a 10 g/l. a partir de dicho valor y hasta la saturación, la corrosión disminuye así como sucede con el oxígeno disuelto. Débiles variaciones en la salinidad del agua de mar no producen cambios apreciables en la corrosión del acero sumergido. Pero variaciones en la salinidad tienen alto protagonismo en la corrosión por turbulencia o corrosión-erosión, problemas que se presentan en los intercambiadores de calor.

Tabla 1.1: Composición química del agua de mar.

COMPUESTO	CONTENIDO (gr/l)
Cloruro de sodio (NaCl)	27.0
Cloruro de magnesio (MgCl₂)	3.2
Sulfato de magnesio (MgSO₄)	1.6
Sulfato de calcio (CaSO₄)	1.4
Sulfato de potasio (K₂SO₄)	0.8
Cloruro de potasio (KCl)	0.5
Carbonato de calcio (CaCO₃)	0.1
Otros (bromuros, fosfatos)	0.5
TOTAL	35.0

Fuente: Más allá de la herrumbre III. Corrosión y medio ambiente (Capítulo IV).

Temperatura

La temperatura del agua de mar varía según el lugar y las estaciones del año, dependiendo de ello los valores de temperatura oscilarán entre -2 y 35°C, aunque las aguas superficiales pueden alcanzar valores más altos.

La temperatura del medio tiene alto protagonismo en las reacciones químicas y, por tanto, influye en los fenómenos de corrosión de manera diversa. Incrementos de temperatura en el intervalo de 0 a 50°C aumentan la velocidad en los procesos corrosivos, temperaturas superiores a los 50°C disminuyen la velocidad de propagación debido al decremento de la solubilidad del oxígeno.

Altas temperaturas del orden de 65 a 90°C favorecen la producción en estructuras metálicas, de productos calcáreos como carbonato de calcio y magnesio; los cuales conforman un revestimiento que disminuye la velocidad del proceso de corrosión.

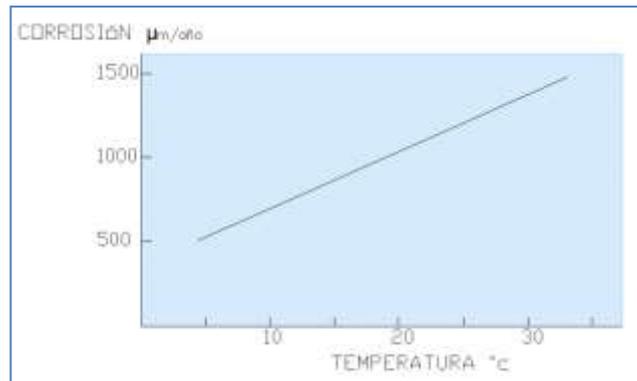


Figura 1.1: Efecto de la temperatura del agua de mar en la corrosión del acero.

Fuente: Corrosión y protección. Corrosión de metales sumergidos (Capítulo IV).

Velocidad del flujo

La velocidad de corrosión es controlada por el transporte de oxígeno hacia el metal, este flujo dependerá de las condiciones hidrodinámicas, definidas por la velocidad media del agua.

Las velocidades de movimiento del agua de mar van desde 0 a 30 m/s, conforme aumenta la velocidad, también se incrementa el fenómeno de corrosión erosión por turbulencia. Además a velocidades superiores a 1 m/s, los organismos incrustantes encuentran mayores dificultades para fijarse a las superficies, a menos que se hayan fijado previamente. Para altas velocidades del fluido, la etapa cinemática representante de la corrosión es determinada por la difusión del oxígeno a través de una capa porosa de los productos de corrosión.

Dependiendo de la clase de material, un aumento en la velocidad de flujo o turbulencia, pueden acelerar o retardar la corrosión según sea el caso. Para el acero se observa un progresivo incremento de la velocidad de ataque al crecer la velocidad del fluido.

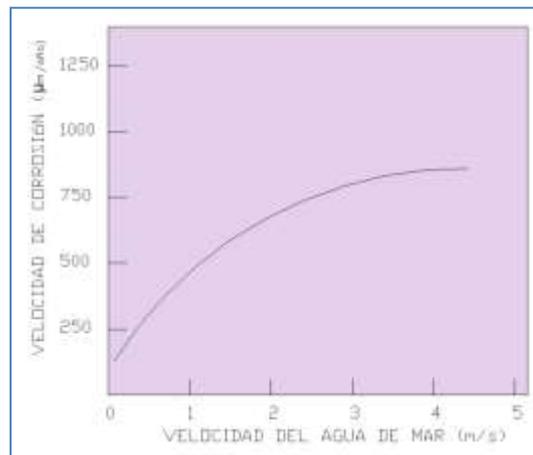


Figura 1.2: Variación de la corrosión del acero con la velocidad del agua de mar a temperatura ambiente.

Fuente: Corrosión y protección. Corrosión de metales sumergidos (Capítulo IV).

En el caso de las aleaciones de cobre en agua de mar, al crecer la velocidad del fluido inicialmente se produce un ligero incremento de la velocidad de corrosión, debido al mayor aporte de oxígeno, cuando se alcanza un valor crítico (“velocidad de rotura”) se produce un rápido incremento de la velocidad de ataque a causa de la turbulencia que destruye la capa protectora local.

Profundidad

En la Figura 1.3 se representa el perfil de corrosión a lo largo de un pilote de acero enclavado en el fondo del mar y que sobresale a la atmósfera. En la zona de salpicadura se aprecia la máxima velocidad de corrosión debido a que en esta zona el metal se halla continuamente mojado por una delgada capa de mar altamente aireada. El mínimo de corrosión se produce en la zona de marea a causa de los fenómenos de aireación diferencial entre esta zona y la de inmersión continua, menos oxigenada. A medida que aumenta la profundidad la corrosión crece para luego mantenerse a un valor hasta profundidades apreciables. En la zona enterrada la corrosión desciende considerablemente ya que debido a la falta de convección hay ausencia de oxígeno.

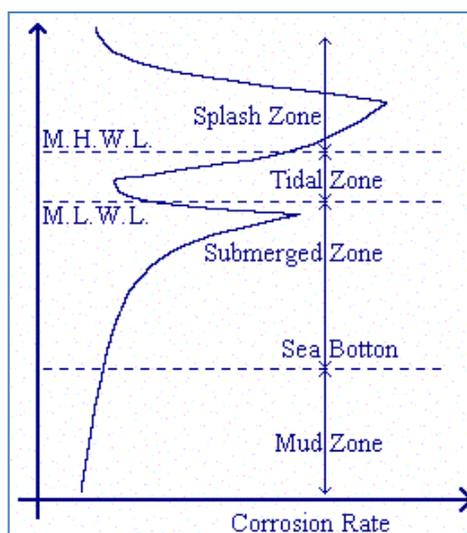


Figura 1.3: Variación de la corrosión según la profundidad de la estructura.

Fuente: Morken. Soluciones de integridad (boletín informativo).

Tabla 1.2: Velocidad de corrosión según la profundidad, en estructuras marinas de acero.

Ambiente corrosivo	Factores de corrosión	Rating de corrosión [mm/año]
Atmósfera marina	Sodio y cloruros, temperatura, humedad, lluvia y viento	0.05 - 0.2
Zona splash	Sodio y cloruros, temperatura, humedad, lluvia y marejada	0.2 - 0.4
Zona intermarea	Resistividad del agua, temperatura, marejada e influencia de minerales del agua	0.05 - 0.2
Zona de inmersión	Resistividad del agua, temperatura, marejada, corrientes e influencia de agua contaminada	0.1 - 0.2
Zona lodosa de fondo de mar	Resistividad del suelo, bacterias de corrosión y contaminación	0.03 - 0.07

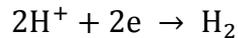
Fuente: Morken. Soluciones de integridad (boletín informativo).

Se concluye que la zona con mayor velocidad de corrosión [mm/año] corresponde a la zona *splash*, siendo este un punto donde tenemos que enfocar inicialmente los esfuerzos para detener la corrosión. En una estructura protegida catódicamente, el efecto de las mareas impide que la protección catódica actúe uniforme y permanentemente, en la zona *splash*, pues no existe electrolito para distribuir la corriente de protección a esas secciones.

Contaminación

Los puertos, las zonas costeras próximas a población, estuarios de ríos contaminados por aguas residuales, los fondos marinos, etc. favorecen la existencia de condiciones anaeróbicas, ideales para el desarrollo de bacterias sulforreductoras que liberan cantidades de ácido sulfhídrico.

La contaminación marina debido a la putrefacción de la materia orgánica es una de las principales causas de corrosión acelerada, debido a la producción de iones sulfuro, además se verifica la reacción de descarga de iones hidrógeno:



Se distingue dos tipos de corrosión bacteriana: El ataque directo donde destacan las bacterias *desulfovibrio desulfuricans* que transforman los sulfatos en ácido sulfhídrico que actúa directamente en el proceso de corrosión. El otro grupo de bacterias dan lugar a compuestos de nitrógeno, ácido sulfúrico, etc.

Incrustaciones biológicas

Las incrustaciones marinas son todos los organismos animales o vegetales que se fijan como esporas o larvas y crecen en las superficies sumergidas hasta alcanzar su forma adulta.

Las capas e incrustaciones biológicas reducen la cantidad de oxígeno en la superficie del metal, pero crean intersticios que favorecen la formación de celdas galvánicas con formación de ataque localizado, el apantallamiento producido conduce a condiciones locales anaeróbicas con desarrollo de bacterias sulfato-reductoras. Para disminuir los efectos corrosivos se aplican recubrimientos *anti-fouling*.

1.2 Tipos de protección anticorrosiva para estructuras marinas

En general, se denomina protección anticorrosiva al conjunto de acciones que involucran la protección de una estructura metálica contra un proceso de degradación llamado corrosión, incluyendo el tipo de superficie, el análisis del ambiente a la que estará expuesta, las condiciones de servicio o de trabajo, las posibilidades de acceso a los lugares a proteger, la preparación de la superficie, el esquema de protección o pintura, y el método de aplicación. Se debe mencionar, además en todo sistema de protección, los controles de calidad y el mantenimiento que se deberá considerar en la vida útil de la estructura, evitando así el deterioro de sus propiedades físicas y químicas.

Los aceros al carbono son mayormente empleados para construcciones en agua de mar, debido a sus excelentes características de resistencia mecánica, tenacidad, soldabilidad y bajo costo. Pero la resistencia a la corrosión es escasa y, por lo tanto, las estructuras en acero al carbono, deben ser adecuadamente protegidas.

Para ello existen diversas soluciones de protección y cada uno tiene propiedades específicas que los pueden hacer más recomendables que otros, lo que dependerá en gran medida de las condiciones de exposición y del servicio a las que estarán expuestas las estructuras de acero. Hay que mencionar además, que existen también los sistemas o soluciones mixtas.

Para tener un buen control de la corrosión en las estructuras, se combinan los dos tipos de protección más empleados: un sistema de protección catódica adecuado, complementado por un buen recubrimiento pasivo. Confiar la protección anticorrosiva de una estructura solamente a la protección catódica, puede hacerse, pero resultará siempre antieconómico.

1.2.1 Protección catódica

La protección catódica es un método usado en estructuras metálicas sujetas a corrosión húmeda. Es una técnica electroquímica aplicada para la protección de metales

especialmente en ambientes naturales (aguas y terrenos); además incrementa notablemente el periodo de protección con respecto al que brindan los recubrimientos de alto espesor.

El fundamento radica en una base de tipo termodinámico y electroquímico para buscar eliminar totalmente la presencia de áreas anódicas en la estructura que se desea proteger, llevándola a la condición de inmunidad dentro del medio en la que está expuesta. Con la protección catódica se busca hacer más negativo el potencial de la estructura en el ambiente agresivo, para ello se inyecta una corriente continua externa que fluye desde el ambiente hacia el material que se intenta proteger provocándose una polarización en dirección al comportamiento catódico de la estructura. La estructura funcionará como cátodo, mediante un segundo electrodo que funciona como ánodo, para que ello ocurra se requiere que el ambiente posea una alta conductividad eléctrica.

Para que suceda la completa protección, la concentración del oxígeno sobre la superficie del metal debe ser nula. En condiciones estacionarias se determina, a través del coeficiente de transferencia de masa y la concentración de oxígeno en solución, la cantidad que difunde y la cantidad de corriente necesaria para reducirlo. Referido a unidad de superficie y tiempo, se define la densidad de corriente límite (I_L), para valores de densidad de corriente inferiores la protección es incompleta; para densidades de corriente superiores se pasa a condiciones de sobreprotección y el excedente de corriente causa el desarrollo de hidrógeno a partir del agua.

Otro concepto relacionado es el potencial de protección (E_{prot}) el cual representa el valor óptimo para la protección catódica al cual corresponde la protección completa del metal, sin la intervención significativa de la reacción de evolución del hidrógeno.

Al aumentar la corriente catódica externa el proceso de corrosión disminuye gradualmente hasta anularse cuando la polarización alcanza el potencial de protección. Un incremento adicional de corriente puede provocar una excesiva formación de hidrógeno y excesiva alcalinidad por reducción del oxígeno que a su vez puede causar deterioro de los recubrimientos existentes o fragilidad del material por hidrógeno. Inicialmente la polarización está ligada a la alcalinización del velo de solución que moja el metal y a la formación de depósitos calcáreos en el caso de soluciones que puedan dar origen a incrustaciones, normalmente sales de calcio y magnesio. Con el tiempo la corriente necesaria de protección, en la polarización, disminuye a casi un décimo del valor inicial al llegar a condiciones de régimen estable.

1.2.1.1 Protección catódica por corriente impresa

La protección catódica por corriente impresa emplea una fuente eléctrica que convierte la tensión alterna en continua, cables eléctricos de conexión, ánodos insolubles de un material muy resistente a la corrosión (titanio-platinado, grafito, fierro-silicio, óxido de titanio, magnetita, etc.) la corriente puede ser prefijada o ajustada automáticamente con la señal de potencial medida respecto a un electrodo de referencia. Los alimentadores funcionan con voltajes entre 10 a 60 voltios y corrientes de unos pocos a algunos cientos de amperios.

El polo negativo de la fuente de alimentación se conecta a la estructura que se desea proteger, y el polo positivo al dispersor de corriente. Los ánodos insolubles van inmersos en el medio y se ubican a pocos centímetros o varios metros de la estructura a proteger (ánodos remotos). Los ánodos pueden ser instalados cercanos a la superficie del terreno, inmersos en el fango sobre el fondo del mar, o instalados en profundidad (ánodos de lecho profundo) usados en la protección de *Casing* de los pozos petroleros. El material puede ser grafito con relleno de carbón granulado, aleaciones ferrosas del tipo Fe-Cr-Si, plomo (o

aleaciones plomo-plata), titanio o niobio recubierto con platino u óxidos de titanio activados del tipo DSA.

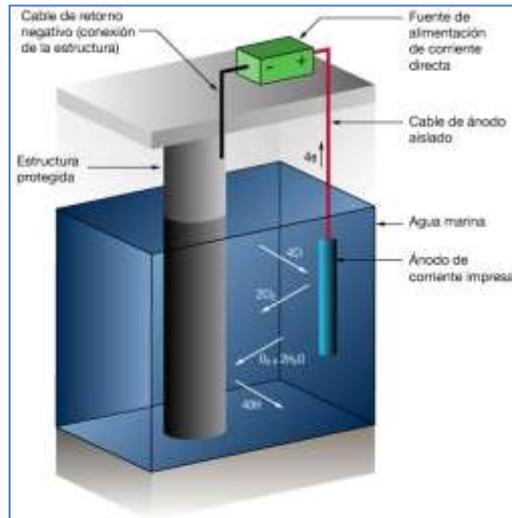


Figura 1.4: Sistema de protección catódica por corriente impresa en ambiente marino.

Fuente: <http://www.cathodicprotection101.com/proteccion-catodica.htm>

1.2.1.2 Protección catódica por ánodo de sacrificio

Cuando se emplea protección por ánodo de sacrificio, el metal o estructura a proteger se une a otro metal menos noble que el primero, creando una diferencia de potencial donde los electrones fluyen del metal menos noble al más noble a través del electrolito y por tanto el metal más electronegativo se consume o sacrifica para proteger la estructura.

En las estructuras submarinas o cascos de barcos, se emplean ánodos constituidos por un lingote de metal activo atravesado por una varilla de hierro que va soldado a la estructura.

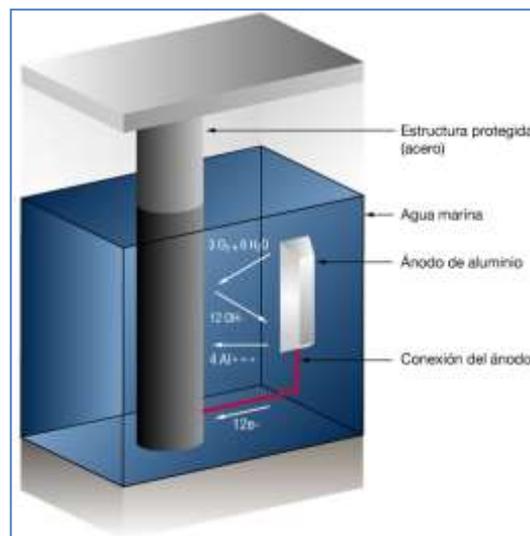


Figura 1.5: Sistema de protección catódica por ánodo de sacrificio en ambiente marino.

Fuente: <http://www.cathodicprotection101.com/proteccion-catodica.htm>

El diseño de un sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio implica:

- Cálculo del peso global de ánodos que se deben instalar según la superficie a proteger, la densidad de corriente de protección, el tiempo para el cual se diseña la protección y el consumo práctico del material anódico seleccionado (algunas veces se requieren toneladas).

- También se considera la distancia a la cual se deben instalar los ánodos para mantener la caída óhmica dentro de los niveles aceptables.
- Además se toma en cuenta la forma geométrica de los ánodos y la relación de superficie-volumen para mantener la densidad de corriente anódica dentro de los límites fijados, para optimizar los consumos favoreciendo una corrosión uniforme del ánodo.

1.2.2 Revestimientos

El uso de recubrimientos es un modo eficaz de defender al acero de la corrosión. La eficiencia de un revestimiento puede variar con el tiempo, pero el envejecimiento es más acelerado para estructuras en contacto con agua de mar, debido al deterioro mecánico producido por abrasión o por causas diversas que se incrementan directamente con la velocidad del medio. Generalmente con esta protección se emplea además protección catódica como complemento.

1.2.2.1 Pinturas

Las pinturas anticorrosivas se constituyen por componentes químicos básicos, tales como el silicato de sodio (inhibidor de la corrosión), y el EDTA (secuestrante activo). Tienen la primordial función de proteger al acero (y otros metales como el hierro), para lo cual además de adherirse a la superficie también reaccionan químicamente modificándola y compenetrándose con ella.

Las pinturas aseguran la protección del acero por periodos breves, esto en el caso de agua y terreno, donde pueden intervenir acciones galvánicas a distancias o fenómenos de corrosión por corrientes dispersas. Es por ello que no resulta eficaz a largo plazo en ambientes abrasivos extremos, además su aplicación y desempeño dependen de la adecuada preparación superficial de la estructura y del método de aplicación, el mismo que está condicionado por factores ambientales, el tiempo de secado, etc.

Algunos tipos de pinturas anticorrosivas de uso marino son:

Pinturas fenólicas

Para la elaboración de ligante se emplea resina fenólica pura o modificada. Posee buena resistencia al exterior y mayor resistencia al agua que las pinturas epóxicas. Especialmente apropiadas para aceros estructurales que han de permanecer sumergidos en agua, zonas de alta humedad en las que se prevé condensaciones y para exposición a la intemperie en ambientes químicos de corrosión moderada.

Pinturas al aceite

Apropiadas para estructuras expuestas a la intemperie. Poca resistencia a ambientes químicos, inmersión en agua, condensaciones, atmósferas salinas o muy corrosivas, humedad elevada, temperaturas altas, abrasión y condiciones enterradas. Se recomienda para ambientes rurales, urbanos, marinos e industriales y en zonas de humedad relativa.

Pinturas vinílicas

Para condiciones ambientales muy severas, inmersión en agua dulce o salada, alta humedad y condensaciones. Resistente al fuego y a los ambientes químicos corrosivos, pero son sensibles a los disolventes orgánicos aromáticos, cetonas, éteres esterés, así como al ácido nítrico, ácido sulfúrico al 98% y ácido acético.

Pinturas ricas en zinc

Estas pinturas representan un gran avance en la protección contra la corrosión, son un complemento a la protección galvánica. Adecuadas para zonas marinas y químicas, de

humedad elevada y corrosiva. Pueden utilizarse en estructuras que permanecen sumergidas en agua dulce o salada.

Pinturas de alto contenido de sólidos

Este tipo de pinturas contiene incrustaciones de fibra de vidrio u otro material, lo cual brinda a la estructura protección mecánica. Su aplicación se realiza en la etapa de construcción y requiere una buena preparación superficial.

1.2.2.2 Masillas

Existen masillas a base de resinas epoxi-poliámidas, para aplicaciones submarinas, libres de solventes. Sirven como capas protectoras de estructuras en ambientes marinos o húmedos, frenando y previniendo el ataque corrosivo.

Para su aplicación requiere una buena preparación superficial, a nivel de arenado a metal blanco, para remover el óxido, incrustaciones marinas, restos de pintura antigua y cualquier otro material extraño que pueda afectar la adhesión; además se necesita una adecuada mezcla de los componentes hasta lograr homogenizarlos, con la ayuda de un agitador mecánico. Posteriormente se aplica por un especialista ejerciendo presión y extendiendo la masilla a lo largo de la superficie a proteger, con especial cuidado de no atrapar agua o aire, con un espesor de película de 1/8-1/4 de pulgada por capa.

Un sistema de masilla no confiere larga duración en las condiciones marinas de trabajo por un periodo superior a 4 años, una vez deteriorado el recubrimiento, el acero sin protección alguna permanece en contacto directo con el medio agresivo.

1.2.3 Otros sistemas

Los sistemas de protección catódica actúan bien mientras haya electrolito, pero si se quiere proteger estructuras parcialmente sumergidas, las cuales tienen una zona de salpicadura que está sometida a periodos de mojado y secado, donde la protección catódica no puede controlar la corrosión. Se requiere aplicar además un revestimiento pasivo que brinde protección integral a la estructura.

A continuación se describen técnicamente siete sistemas representativos, de la múltiple oferta en el mercado, sobre protección anticorrosiva dedicados a la zona *splash* en estructuras marinas. Este tipo de sistemas mixtos crean una barrera a la corrosión, también brindan resistencia mecánica y son resistentes a la degradación ultravioleta.

1.2.3.1 Sistema de enchaquetado de pilotes (*Pile shield system*)

El sistema de enchaquetado de pilotes está compuesto por dos capas de revestimiento de cera microcristalina con inhibidores de corrosión (el *Pile Primer* y el *Pile Inner Wrap*). Además posee una cubierta (*Pile Shield*) que brinda la protección mecánica.

Componentes técnicos:

– Imprimante Trenton (*Pile Primer*): Imprimante compuesto en un 100% por cera de petróleo microcristalina, que actúa como inhibidor de la corrosión. Se aplica manualmente y gracias a su composición desplaza la humedad.

Tabla 1.3: Propiedades físicas del *Pile Primer*.

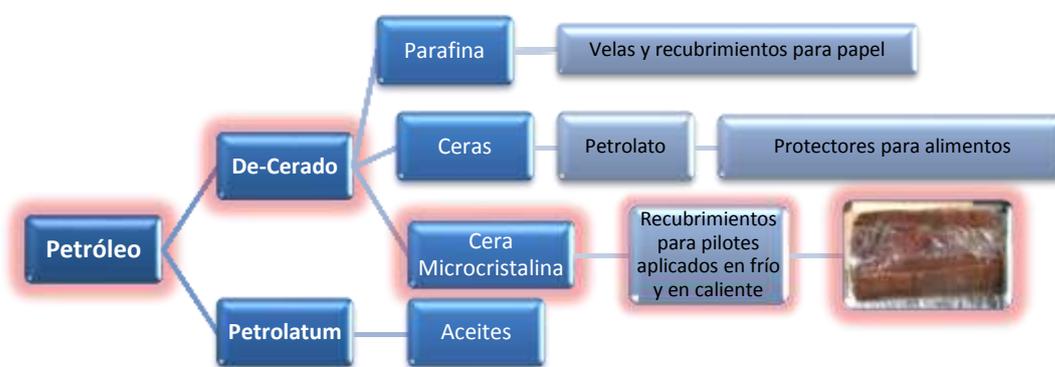
PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Resistencia dieléctrica	ASTM D149	100 [volt/mil]
Punto de flacheo	ASTM D92	177° C
Gravedad específica	ASTM D3505	0.9 (a 25° C)
Color	-	Café
Temperatura de aplicación	-	-18° C a 38° C
Temperatura de servicio	-	-29° C a 52° C

Fuente: Trenton. *Pile shield system with sean-lock interlock strip* (hoja técnica).

Figura 1.6: *Pile Primer*.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Cinta Trenton microcristalina (*pile inner wrap*): Cinta que combina inhibidores de corrosión con una cera de petróleo y junto con el imprimante brindan una barrera anticorrosiva a la estructura.

Figura 1.7: Procedencia del *inner wrap*.

Fuente: Tania Moscol, 2012. Tomando como referencia la presentación audiovisual: Morken. Soluciones de integridad.

Tabla 1.4: Propiedades físicas del *Pile inner wrap*.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Resistencia dieléctrica	ASTM D149	170 [volt/mil]
Espesor	ASTM D1000	50 [mil] (1.27 [mm])
Fuerza de ruptura	ASTM D1000	3940 [N/m]
Peso	-	1,35 kg/m ²
Punto de flacheo	ASTM D92	149° C
Color	-	Café
Temperatura de aplicación	-	-18° C a 52° C
Temperatura de servicio	-	-73° C a 52° C

Fuente: Trenton. *Pile shield system with sean-lock interlock strip* (hoja técnica).

- Cubierta Trenton (*Pile Shield*): Chaqueta de polietileno de alta densidad (HDPE), la cual brinda protección mecánica a la cinta *inner wrap*, se caracteriza por ser resistente a los rayos UV.

Tabla 1.5: Propiedades físicas del *Pile Shield*.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Espesor	ASTM D1505	100 [mil] (2,5 [mm])
Fuerza de ruptura	ASTM D838	400 [Lb/in]
Elongación de ruptura	ASTM D838	700 %
Resistencia a rajarse	ASTM D1004	29,5 [kg]
Menor temperatura quebradizo	ASTM D746	-80° C
Resistencia a la perforación	ASTM D130	59 [kg]
Color	-	Negro
Temperatura de aplicación	-	-1° C a 52° C
Temperatura de servicio	-	-80° C a 52° C

Fuente: Trenton. *Pile shield system with sean-loc interlock strip* (hoja técnica).

- Otros materiales y herramientas: En la aplicación del sistema, se coloca alrededor de la chaqueta bandas de acero inoxidable (316 *Band it*), especiales para aplicaciones marinas. Empleando una herramienta de ajuste y corte para la instalación de las bandas de acero, asegurándolas con zunchos.



Figuras 1.8 y 1.9: Zunchos metálicos y herramienta de ajuste y corte.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

1.2.3.2 Sistema *Syntho shield*

Este sistema consiste en dos componentes, una cinta de fibra de vidrio (*Syntho Glass*) para las capacidades mecánicas y de corrosión y un recubrimiento interior de Cinta de Petrolato que brinda protección contra la corrosión a largo plazo. Este sistema ofrece resistencia mecánica y al impacto, empleado para aplicaciones de revestimientos protectores contra la corrosión en el agua, sobre y bajo la superficie terrestre.

Componentes técnicos:

- Primer Denso: Cera pastosa, que gracias a su composición desplaza la humedad, facilitando la mejor adherencia de la Cinta de Petrolato.



Figura 1.10: Primer Denso.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Cinta de petrolato: Elaborada en tela sintética no tejida, impregnada con cargas silíceas inertes y petrolato.



Figuras 1.11 y 1.12: Cinta de petrolato.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.6: Propiedades físicas de la cinta de petrolato.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Espesor	ASTM D1000	46mils. (1,15mm promedio)
Resistencia a la ruptura	ASTM D1000	22,5lb/in (200N/50mm min.)
Transmisión de vapor de agua	ASTM E96-66 procedimiento A	0,006 perms promedio
Alargamiento en el punto de ruptura	Porcentaje	10% promedio
Tensión disruptiva	55% superposición	16kV min.
Resistencia al desprendimiento catódico	ASTM G8 – 30días	0,28in ² promedio (180mm ² prom.)

Fuente: NRI. Syntho Glass Cinta de petrolato (hoja técnica).

- Syntho Glass: Tela de fibra de vidrio impregnada con una resina activable con agua fresca o salada, lo cual incrementa la dureza de la cinta como reacción de un componente termostático. Se emplea como recubrimiento protector exterior. La dureza de la resina produce una presión de retención en la manga de fibra de vidrio, resistente al ataque y posee una gran fuerza en la dirección circunferencial de la estructura que es recubierta.



Figura 1.13: Syntho glass.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.7: Propiedades físicas del syntho glass.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Resistencia a la tracción	ASTM D638	36000psi (2482,1bar)
Resistencia a la cizalladura	ASTM D5379	900psi (62,05bar)
Resistencia a la flexión	ASTM D790	26100psi (1799,53bar)
Resistencia dieléctrica	ASTM D149	16000Volts
Resistencia al impacto	ASTM G14/G62	123ft.lb (167J)

Fuente: NRI. Syntho Glass solución de compuesto de fibra de vidrio activable con agua (hoja técnica)

- Otros materiales y equipos: Se usa cinta de compresión para envolver el pilote una vez colocado el syntho glass y permitir que transcurra el tiempo de curado sin el efecto directo del golpe de las olas en la zona splash y limitando la absorción de agua sólo a la cantidad necesaria. También se emplea un rodillo perforador para hacer agujeros en la cinta de compresión y eliminar el agua que haya quedado atrapada entre la cinta y el syntho glass.



Figuras 1.14 y 1.15: Cinta de compresión y rodillo perforador.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

1.2.3.3 Sistema FX-70

Sistema empleado en la restauración de estructuras marinas, acero, concreto y madera; como pilotes, plataformas marinas, pilares de puentes, etc. Consiste en una Chaqueta de fibra de vidrio diseñada según la geometría de la superficie (tubos redondos, cuadrados, columnas H, T, etc.) seccionada longitudinalmente con juntas de acople, las cuales se colocan permanentemente alrededor del pilote, llenando el espacio anular entre la superficie y la chaqueta con *Hydro Ester Epoxy Grout* una resina insensible al agua. El sistema puede aplicarse tanto en la atmósfera o bajo el agua para construcciones nuevas o en mantenimiento.

Componentes técnicos:

- Chaqueta: De espesor 1/8", puede ser gris o translúcida, para observar el llenado del espacio anular, es elaborada en resinas poliméricas y fibra de vidrio. Su cara interna es rugosa para asegurar una óptima adhesión del *grouting*. Para mantener la concentricidad entre las chaquetas y la estructura, se dispone de pequeños separadores adheridos a la superficie interior de la misma.

Las chaquetas son diseñadas con un diámetro mayor al de la estructura a proteger, dejando un espacio anular de media pulgada que será llenado con una resina. Presentan también un corte longitudinal que permite expandirlas o extenderlas para colocarlas alrededor del pilote, manteniendo su forma original, este borde tiene un diseño de empalme para una correcta sujeción.

Tabla 1.8: Propiedades físicas de la chaqueta.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Absorción de agua	ASTM D570	máx. 1%
Resistencia a la tracción	ASTM D638	15000psi
Resistencia a la flexión	ASTM D796	25000psi
Módulo elasticidad	ASTM D7090	700000psi

Fuente: Sistema FOX. Restauración de pilotes (boletín informativo).



Figura 1.16: Chaqueta de fibra de vidrio.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Epoxy hydro ester multipropósito: Resina multifuncional, endurecedor insensible y compatible con el agua, tiene una capacidad de adherencia al concreto o acero húmedo así como a la chaqueta, además contiene agregados extendedores y un tercer componente compatible con resinas y de buena fluidez una vez mezclados. La resistencia a la compresión del producto mezclado y curado en 7 días es de 8,000 psi.



Figura 1.17: *Epoxy Hydro Ester FX*. Figura 1.18: Masilla multipropósito.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Sello: Elaborado en polipropileno expandido, empleado para cubrir el espacio libre entre la base soporte de la chaqueta y la parte inferior de ella y evitar la fuga del *grouting* en la parte inferior al inicio del vaciado.



Figura 1.19: Sello de espuma.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Masilla epoxy hydro ester multipropósito: Mezcla de dos componentes insensibles al agua, formando un pegamento que se agrega en la junta de la chaqueta para sellar los extremos de la cubierta, mejorando así la terminación y la unión, al colocarse alrededor de la estructura a proteger.



Figura 1.20: Masilla.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Correa: Tipo zunchos de cabezal metálico con manija de caucho y pasaderas de hilo sintético trenzado. Se emplean para asegurar las chaquetas una vez colocadas sobre el pilote y evitar se desprendan longitudinalmente mientras se realiza el llenado de la misma.



Figura 1.21: Zuncho.

1.2.3.4 Sistema Shaic & Stopaq

Los productos Shaic están compuestos principalmente por petrolato, tanino, sílice inerte, carbonato de calcio y agentes anticorrosivos especiales. Están disponibles en forma de pasta, mastique y cintas para instalación manual, diseñados para la protección contra la corrosión.

Dentro de la variedad de los productos Stopaq, en esta aplicación los empleados fueron las cintas de polietileno, cuya función es brindar protección mecánica y contra los rayos UV.

Componentes técnicos:

- Pasta de petrolato (*Petrolatum paste* -Shaic PT-310PS-): Imprimante anticorrosivo elaborado de petrolato, posee propiedades de protección contra la corrosión y además facilita la adhesión de la cinta de petrolato en la superficie.



Figura 1.22: Pasta de petrolato.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.9: Composición de la pasta de petrolato.

INGREDIENTE	PORCENTAJE
Polibutano	15-20%
Aceite aromático	20-25%
Parafina	30-35%
Litio	5-10%
$CaCO_3$	15-20%

Fuente: Shaic. Material *safety data sheet Petro paste*.

Tabla 1.10: Propiedades físicas de la pasta de petrolato.

PROPIEDADES	MÉTODO DE PRUEBA	VALORES
Apariencia	-	Pasta marrón
Olor	-	Grasa
Gravedad específica	-	1.2
Temperatura de inflamación (flash)	ASTM D92	100°C (mín.)
Peso específico (@ 25°C)	ASTM D70	1.038
Temperatura de goteo (<i>drop melting</i>)	ASTM D127	58°C
Contenido de petrolato (en peso)	-	77.9%
Resistencia a la penetración (cono)	ASTM D937	19.5 mm.

Fuente: Shaic. Productos de petrolatum y PVC (hoja técnica)

- Cinta marina para pilotes (*Marine pile tape* - Shaic PT-310m-): Cinta anticorrosiva de petrolato para uso marino. Protege contra la corrosión y es especialmente empleada para tuberías y pilotes de acero.



Figura 1.23: *Marine pile tape* de Shaic.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.11: Propiedades físicas del *Marine pile tape*.

PROPIEDADES	MÉTODO DE PRUEBA	VALORES
Apariencia		Pasta marrón
Olor		Grasa
Gravedad específica		1.25
Espesor (aplicaciones en suelo)	ASTM D1000	1.1 mm

Espesor (aplicaciones en agua)	ASTM D1000	1.25 mm
Resistencia dieléctrica	ASTM D149	7.87 kV/mm
Resistencia a la rotura	ASTM D1000	45 N/cm
Elongación	ASTM D1000	40%
Temperatura a la inflamación (flash)	ASTM D92	162°C
Transmisión de vapor de agua	ASTM E96	0.72 ng/Pa.s.m ²
Transmisión de humedad		0.03%
Resistencia eléctrica	ASTM D257	2.6x10 ¹² Ω.cm
Contenido de petrolatum (en peso)		68.8%
Temperatura de goteo del saturante (<i>drop melting</i>)	ASTM D127	84°C
Resistencia al calor	ASTM D127	60°C
Resistencia a la penetración del saturante (cono)	ASTM D937	9.4 mm

Fuente: Shaic. Productos de petrolatum y PVC (hoja técnica)

Tabla 1.12: Características del *Marine pile tape*.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Espesor de la cinta	1.25 mm
Ancho de la cinta	300 mm
Longitud de la cinta	10 m

Fuente: Shaic. Productos de petrolatum y PVC (hoja técnica).

Tabla 1.13: Composición del *Marine pile tape*

INGREDIENTE	PORCENTAJE
Parafina	25%
Aceite aromático	30%
Polibutano	30%
CaCO₃	15%

Fuente: Shaic. Material *safety data sheet Petro tape*.

- Shaic PT-320: Cinta afirmante de PVC, que posee adhesivo en uno de sus lados. Sirve como protección a la cinta de petrolato constituyendo un afirmante, para asegurar el ajuste del *Marine pile tape* a la estructura y mejorar el aislamiento de la misma.

Tabla 1.14: Composición de la cinta afirmante.

INGREDIENTES	PORCENTAJE
Cloruro de polivinilo	65%
Resina de petróleo	20%
Caucho natural	15%

Fuente: Shaic. Material *safety data sheet PVC firm tape*.

Tabla 1.15: Presentación de la cinta afirmante.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Espesor de la cinta	0.2 mm
Ancho de la cinta	100 mm
Longitud de la cinta	30 m
Color de la cinta	Amarillo

Fuente: Shaic. Productos de petrolatum y PVC (hoja técnica).



Figura 1.24: Cinta Shaic PT-320.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.16: Propiedades físicas del Shaic PT-320.

PROPIEDADES	MÉTODO DE PRUEBA	VALORES
Apariencia	-	Cinta de PVC con

		adhesivo en un lado
Color	-	Amarillo, rojo, negro, gris, celeste, etc.
Solubilidad en agua	-	Insoluble
Espesor	ASTM D1000	0.2 mm
Resistencia a la tracción	ASTM D1000	38 N/cm
Elongación	ASTM D1000	210%
Resistencia al desprendimiento (acero imprimado)	ASTM D1000	5 N/cm
Transmisión de vapor de agua	ASTM E96	<0.25 perms
Resistencia dieléctrica	ASTM D149	50 kV/mm
Resistividad eléctrica	ASTM D257	>10 ¹² Ω.cm
Temperatura de operación	ASTM D127	60°C

Fuente: Shaic. Productos de petrolatum y PVC (hoja técnica).

- Stopaq Outer wrap: Cinta de polietileno, que posee adhesivo en uno de sus lados, cuya principal función es brindar protección mecánica y contra los rayos UV a la estructura a proteger.

1.2.3.5 Sistema de encapsulamiento avanzado de pilotes (*Advanced pile encapsulation -APE-*)

El proceso de aplicación del sistema APE (*Advanced pile encapsulation*) comienza con la preparación de la superficie donde se trabajará, puede ser necesario remover las incrustaciones marinas y cualquier otro recubrimiento aplicado anteriormente. Luego se coloca sobre el elemento a proteger una camisa reforzada con fibra de vidrio hecha a la medida y se bombea en la camisa *grout* epóxico desde la parte inferior. El *grout* se mezcla y bombea con un equipo especialmente diseñado para mantener los componentes reactivos separados hasta justo antes que penetre en la camisa. Debido a que la camisa es translúcida se puede monitorear el ascenso del *grout* para asegurar un encapsulado continuo y sin vacíos. El efecto del *grout* epóxico con agregado, al ascender en la camisa mejora la adherencia de la misma al sustrato, creando un sistema compuesto bien adherido.

Componentes técnicos:

- Chaqueta translúcida (FRP): Camisa exterior de polímero reforzado con fibra de vidrio (FRP), es translúcida permitiendo visualmente monitorear desde la parte exterior, el progreso del *grout* epóxico dentro de la camisa durante su inyección.

La camisa está formada por un laminado grado marino de polímero reforzado con fibra de vidrio (FRP), construida con capas de tela y malla de fibra de vidrio. El contenido de vidrio no es menor del 30% del laminado. Además contiene dentro de la matriz resina de poliéster, un ingrediente estable a los rayos ultravioleta (UV).

La camisa exterior posee una resistencia y espesor que le proporcionan rigidez adecuada para soportar las fuerzas y esfuerzos a los cuales está sujeta durante el manejo, instalación e inyección del *grout* epóxico, además poseen espesores mayores a 3 mm (1/8 in).

Colocados alternativamente en lados opuestos de la camisa se hayan los puertos de inyección para permitir una distribución más pareja del *grout*. Los puertos de inyección son de polímero y se fijan a la pared de la camisa antes de instalarla. La chaqueta contiene adheridos a la superficie interna un número suficiente de separadores poliméricos, para mantener un espacio mínimo entre el pilote y la camisa de 9.5 mm (3/8 in).

La chaqueta se fabrica en secciones. Cada sección no contiene más de dos (2) juntas longitudinales. Las secciones pueden colocarse una encima de otra, unidas con juntas transversales. Todas las juntas en la camisa tienen la resistencia suficiente para asegurar que no se abrirán o separarán cuando se sometan a los esfuerzos de la instalación, fuerzas del mar y a las presiones de inyección del *grout* epóxico. Su diseño posee una configuración de traslape y permite ajustes menores en la obra al tamaño del pilote. El diseño de todas las juntas asegura un anillo mínimo de 8 mm (3/8 ") entre la camisa y el pilote. El extremo inferior de la camisa tiene una cavidad moldeada recortada para recibir y contener en forma adecuada un empaque de sello al fondo.



Figura 1.25: Camisa translúcida (FRP).

Fuente: Moscol Tania, 2012

Tabla 1.17: Propiedades físicas de la camisa exterior.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Resistencia Máxima a Tensión	ASTM D638	15,000 psi
Resistencia al impacto IZOD	ASTM D256	1066 J/m (20 pie-lb/pulgada)
Dureza Barcol	ASTM D2583	35
Absorción de agua	ASTM D570	1% (Máximo)

Fuente: Degusa. APE Boletín de especificación.

- Grout epóxico: Sistema de relleno con agregado especialmente diseñado para ser colocado mediante un método pluricomponente, sobre y bajo el nivel del agua. Empleado en el proceso avanzado de encapsulación de pilotes y en otras aplicaciones donde se necesita colocar grandes volúmenes de *grout* epóxico, en todo tipo de estructuras de acceso difícil o submarino donde se requieren tiempos de reacción controlados y calores exotérmicos relativamente bajos.

La temperatura de curado es de 13°C (55°F). El APE *Pile Grout* tiene una vida útil de un mínimo de 12 meses cuando se almacena en los envases originales, cerrados y a una temperatura entre 10 y 49°C (50 a 120°F).

Es un producto manufacturado, pre envasado, sin solventes, con curado submarino; de tres componentes, una resina epóxica (componente A), un endurecedor epóxico (componente B) y un material de relleno con agregado de dióxido de silicio en polvo (componente C). La proporción de los componentes epóxicos A y B (llamados en forma colectiva el adherente) debe ser de 1:1 en volumen. Los componentes A y B son de colores muy contrastantes, para minimizar errores de dosificación en la obra y para ayudar a evaluar que el mezclado sea completo. El *grout* debe dosificarse para cumplir con los requerimientos de manejo y colocación, además la relación del relleno y adherente no deberá exceder de 3.5:1 en peso.

Tabla 1.18: Datos técnicos del *grout* epóxico.

DATOS TÉCNICOS	
Relación de mezcla	
A:B (Relleno : Aglomerante)	1:1 por volumen
C:A+B (Relleno + Aglomerante)	Bombeo=3.38:1 por peso
Color	
Componente A	Blanco
Componente B	Negro
Mezcla	Gris
Tiempo de mezclado y manejo	
Método pluricomponente	Ilimitado

Vida de la mezcla	
Después de mezclar en la salida de las mangueras de bombeo	1 hora Aglomerante, 25°C (77°F)

Fuente: Degusa. APE *Pile grout*. (Hoja técnica)

Tabla 1.19: Presentación comercial de los componentes del *grout*.

EMPAQUE	
Componente A	Unidades de 19 L (5gal)
Componente B	Unidades de 19 L (5gal)
Componente C	Sacos de 22.7 kg (50lb)

Fuente: Degusa. APE *Pile grout*. (Hoja técnica)

El *grout* epóxico mezclado presenta las siguientes características en el estado plástico:

- La viscosidad de la resina de relleno y del agente de curado es tal que permite bombear sin segregación, inyectándose en el espacio entre la camisa y el pilote sin causar distorsión o ruptura de la misma. La viscosidad permite que el *grout* mezclado llene por completo el espacio entre la camisa y el pilote sin huecos y que se autonivele, una vez colocado dentro de la camisa.
- El tiempo de gelificación o “Vida de la Mezcla” del *grout* mezclado facilita una colocación apropiada sin formación de huecos, y brinda el tiempo suficiente para una autonivelación en la camisa; no excede en ningún caso de 65 minutos después de mezclar a una temperatura controlada de 25°C (77°F). Este requerimiento minimiza la posibilidad de que el material de relleno se endurezca saliendo de los componentes líquidos.
- El *grout* mezclado es uniforme en color y no contiene alvéolos o ralladuras de los colores originales de cada componente.

El *grout* epóxico catalizador, después de curar bajo el agua, ya endurecido debe tener las siguientes propiedades físicas como mínimo.

Tabla 1.20: Propiedades físicas del *grout* endurecido.

PROPIEDAD	METODO DE PRUEBA	DURACIÓN	VALOR
Resistencia a la compresión	ASTM C579	7 días	48.3 MPa (7000 psi)
Resistencia a la tensión	ASTM C307	7 días	13.8 MPa (2000 psi)
Contracción lineal	ASTM C531	14 días	Menos de 0.06%
Resistencia a adherencia/corte	ASTM C882	7 días	150 psi
Contracción	ASTM C531	7 días	0.07% (Máximo)
Absorción de agua	ASTM C413	7 días	0.45% (Máximo)

Fuente: Degusa. APE *Pile grout*. (Hoja técnica)

Tabla 1.21: Valores de resistencia mínima a la adhesión.

VALORES MÍNIMOS	
Grout epóxico en superficies de madera	50 psi
Grout epóxico en superficies de acero	50 psi
Grout epóxico en superficies de concreto	50 psi

Fuente: Degusa. APE Boletín de especificación.

Figura 1.26: Componentes del *grout* epóxico.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Pasta epóxica marina APE: Compuesto epóxico de dos componentes para unir las costuras de las camisas, cura bajo agua. Para aplicaciones en el tope del encapsulado y en reparaciones bajo agua se emplea el HYDROCOTE® 1063.

La proporción de resina y endurecedor es 1:1 en base a volumen y cada componente es de colores contrastantes. Se mezclan las unidades hasta que hayan desaparecido los colores originales blanco y negro y se logre un color gris uniforme.

En superficies bajo el nivel de agua, se trabaja la pasta presionando muy fuerte sobre la superficie y con cuidado de no atrapar agua o aire entre la pasta y la superficie; sosteniendo la pasta contra la superficie por 10 a 15 segundos para obtener una adhesión óptima.



Figuras 1.27 y 1.28: Componentes de la pasta epóxica.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.22: Datos técnicos del HYDROCOTE 1063.

DATOS TÉCNICOS	
Proporción de mezcla por volumen	
Forma	Pasta gruesa
Color Componente A	Blanco
Color Componente B	Negro
Color de la mezcla (A y B)	Gris
Vida útil de la mezcla	
100g, 25°C (77°F)	15min. mínimo
Tiempo de curado 25°C (77°F)	
Inicial	5 a 6 horas
Final	7 días

Fuente: Degusa. APE Hydrocote 1063 (hoja técnica)

Tabla 1.23: Propiedades físicas del HYDROCOTE 1063.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	DURACIÓN	VALOR
Resistencia a la compresión	ASTM C579	7 días	55 MPa (8000 psi)
Resistencia a la tensión	ASTM D638	7 días	25 MPa (3700 psi)
Absorción de agua	ASTM C413	7 días	0.5% (Máximo)

Fuente: Degusa. APE Hydrocote 1063 (hoja técnica)

- Otros materiales y herramientas: Para lubricar el equipo de bombeo y mangueras se emplea un diluyente del material epóxico compatible con las propiedades químicas del *grout* epóxico utilizado.



Figuras 1.29 y 1.30: Lubricante para manguera.

- Se usa además una Unidad de manejo de *grout* para componente único APE, conocido como equipo único o “marmita caliente” (“hot pot”). Unidad autocontenida que trabaja con aire comprimido para la dosificación, mezclado y bombeo del APE *grout* con el método pluricomponente. El equipo tiene la capacidad de enviar el *grout* mezclado a las camisas a una velocidad de 7.6 l/min (2 gal/min) o mayor.

El *grout* epóxico que se inyectará en las camisas FRP debe ser manejado por el método pluricomponente, donde los componentes reactivos epóxicos se mantienen separados durante la dosificación, premezclado y bombeo, para mezclarse al final de las mangueras, justo antes de entrar a la camisa. No es recomendable el mezclado manual o eléctrico de los componentes en los recipientes originales o en otro tipo de lata o tambor. Para este fin se tiene un equipo que es la Unidad de manejo de *grout* A-P-E.



Figura 1.31: Equipo único APE.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

1.2.3.6 Sistema Stopaq

Este sistema brinda protección contra la corrosión y está conformado por cuatro tipos diferentes de cintas: El Stopaq *Subsea Wrappingband* que se aplica bajo el nivel de agua, el Stopaq *Wrappingband* aplicado sobre la línea de agua y la protección mecánica que la otorgan el Stopaq *Outerwrap* PVC y el Stopaq *Outerglass Shield* XT24.

Los materiales de Stopaq protegen de la corrosión diversas estructuras, son totalmente flexibles y no requieren mucha tensión en su aplicación. Los componentes con la denominación *Wrappingband* no se endurecen ni curan manteniendo sus características únicas a lo largo de su vida útil (30 años según garantía). Los productos Stopaq están conformados por materiales impermeables al agua y al oxígeno, dos elementos que principalmente causan la corrosión. Se adhieren a cualquier superficie de acero, hormigón, PVC, o revestimientos existentes siempre que estén libres de compuestos sueltos.



Figura 1.32: Esquema de los componentes del sistema.
Fuente: Stopaq. *Subsea system basic application* (presentación audiovisual)

Componentes técnicos:

- Cinta envolvente submarina (*Subsea Wrappingband*): Compuesto no tóxico, visco-elástico, impermeable al agua y al oxígeno especial para aplicaciones sumergidas parcial o totalmente. Se adhiere fácilmente en superficies secas y mojadas de acero, concreto, PVC. Requiere una mínima preparación de la superficie a proteger y no necesita aplicación previa de imprimante y tampoco tiempo de curado pues presenta flexibilidad permanente. Su propiedad visco-elástica hace que no sufra esfuerzos internos.



Figura 1.33: *Subsea Wrappingband*.
Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.24: Datos técnicos del *Subsea Wrappingband*.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Color	Verde oscuro
Densidad	1.3 – 1.4 g/cm ³
Temperatura de operación	-20°C – 50°C

Fuente: Stopaq. Stopaq wrappingband SZ (hoja técnica).

- Cinta envolvente atmosférica (*Stopaq Wrappingband CZH*): Recubrimiento químicamente estable, inerte y amorfo, no cristalino con flujo en frío y autocuración visco-elástica. Siempre mantiene su viscosidad a cualquier temperatura de trabajo dentro del rango de -45°C hasta los 70°C, no es tóxico y se adhiere muy bien al acero, es resistente al agua y tiene baja permeabilidad. Se conforma correctamente en cualquier superficie, no requiere alta tensión para adherirse en superficies secas hasta un nivel molecular. No necesita un área altamente preparada para la aplicación, presenta buena adhesión gracias a las fuerzas de *Van der Waals*.

Tabla 1.25: Datos técnicos del *Wrappingband CZH*.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Color	Verde
Espesor	1.8mm – 2.2mm
Densidad	1.4 – 1.6g/cm ³
Temperatura de operación	-45°C – 70°C
Resistencia eléctrica	>10 ⁸ Ω × m ²

Fuente: Stopaq. Stopaq wrappingband CZH (hoja técnica).



Figura 1.34: *Wrappingband CZH*.
Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.26: Propiedades físicas del *Wrappingband CZH*.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Elongación	ASTM D1000	>100%
Permeabilidad	ASTM E96	0.2g/m ² /día
Absorción de agua	ASTM D570	<0.03% (Máximo)
Resistencia a la niebla salina	ASTM B117	No se detectó corrosión

Fuente: Stopaq. Stopaq wrappingband CZH (hoja técnica).

- Cinta envolvente exterior amarilla de PVC (*Yellow Outerwrap PVC*): Banda impregnada con adhesivo por uno de sus lados. Tiene por finalidad ajustar conjuntamente ambas *wrappingband* tanto sobre el nivel de agua como en la zona sumergida otorgando protección mecánica.



Figura 1.35: *Yellow Outerwrap PVC*.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Cinta envolvente de fibra de vidrio (*Outerglass Shield XT24*): Cinta de fibra de vidrio impregnada por una resina de poliuretano que se activa con agua fresca o salada, al curar da como resultado un compuesto termoestable y de alta dureza. Es utilizada como capa sólida de protección mecánica y contra el impacto sobre superficies de acero protegidas por una capa primaria de Stopaq *Wrappingband CZH* o el Compuesto submarino. El curado se inicia por reacción al agua formándose una capa dura y una superficie lisa, resistente a los impactos mecánicos, químicos e influencias climáticas. Independientemente de la temperatura la cinta cura rápido y el área de trabajo puede estar húmeda o seca. El material se puede aplicar con diferentes espesores dependiendo de la clase de impacto o tensión mecánica a la que vaya a estar sometida la estructura a proteger.



Figuras 1.36 y 1.37: Empaque del *Outerglass Shield XT24*.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.27: Datos técnicos del *Outerglass Shield XT24*.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Color	Blanco
Espesor	0.65mm
Tiempo de curado	
Luego de abrir el empaque	30 – 40 minutos a 25°C
Curado inicial	30 – 60 minutos a 25°C
Curado final	7 días a 25°C

Fuente: Stopaq. Stopaq outerglass shield XT24 (hoja técnica).

Tabla 1.28: Propiedades físicas del *Outerglass Shield XT24*.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Resistencia a la dureza	ASTM D2240	90 D
Resistencia a la tensión	-	321 MPa (46525 psi)

Fuente: Stopaq. Stopaq outerglass shield XT24 (hoja técnica).

- Otros materiales y equipos: Se emplea filmina de compresión para mejorar el proceso de curado del *Outerglass Shield XT24* ajustándolo mejor hasta que pase el tiempo suficiente y pueda absorber el agua que necesita para curar. También se usa un rodillo perforador para hacer agujeros sobre la filmina de compresión y de esta manera el agua

pueda salir, optimizando el proceso de curado.



Figura 1.38: Filmina de compresión.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

1.2.3.7 Sistema Riserclad

Esta tecnología propuesta para la protección anticorrosiva se basa en la utilización de camisetas de fibra de vidrio y resinas epóxicas adhesivas tolerantes a la inmersión. Las chaquetas evitan la penetración de los rayos UV y minimizan el daño mecánico; la resina epóxica adhesiva constituye el segundo componente del sistema actuando como capa barrera de alto desempeño.

Componentes técnicos:

- Riserbond Adhesivo epóxico: Polímero epoxi y poliaminas alifáticas, 100% de sólidos en volumen, formado por dos componentes que se pueden mezclar y dispersar a mano o mecánicamente, consisten en la Parte A (resina) y la Parte B (convertidor). Las sustancias inertes se pueden agregar para mantener el espesor mínimo de la película. La vida de la mezcla depende de las condiciones de aplicación.



Figuras 1.39 y 1.40: Catalizador y resina epóxica.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.29: Propiedades físicas del Riserbond.

PROPIEDAD	VALOR
Tipo	Epoxi / Aminas alifáticas
Vida de la mezcla	45 minutos a 77°F (25°C)
Tiempo exacto	1 hora
Temperatura de aplicación	5°C a 45°C (formulación estándar)
Temperatura de servicio	0°C a 93°C (seco) 75°C (húmedo)
Resistencia a la compresión	7383 psi (ASTM 695)
Resistencia a la flexión	4548 psi (ASTM 790)
Punto de inflamación	>200°F (>93°C)
Absorción de agua	<1%
Toxicidad	No
Resistencia a la temperatura	200°F (93°C)
Preparación de superficie	SSPC SP 5/NACE

Fuente: Topcor. Especificaciones generales del Riserwrap.

- Riserclad: Revestimiento de fibra de vidrio reforzado, de filamento enrollado. Cada

media luna de FRP se fabrica mediante un mandril que representa el diámetro de la estructura en la que se va a instalar la chaqueta para luego cortarse en dos mitades. Se fabrican según la clasificación de la ASTM D2996, Tipo 1, Grado 2, en dos y hasta cuatro mitades longitudinales, dependiendo la distancia a cubrir y permitiendo un mejor procedimiento de encapsulación. El Riserclad posee, incorporados en su matriz de resina, inhibidores de rayos UV, además contiene un adhesivo epóxico que proporciona un acabado duro y protección de larga duración contra la corrosión. Estas chaquetas son empleadas en bandas, conductores, líneas de flujo y las tuberías correspondientes para aplicaciones especiales, como la zona de salpicaduras.



Figura 1.41: Chaqueta de fibra de vidrio.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 1.30: Propiedades físicas del Riserclad.

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Espesor de pared	-	3/16" a 6/16"
Resistencia a la temperatura	-	200°F (93°C)
Rendimiento a la tracción	ASTM D2992	12800 psi
Rendimiento a la compresión	ASTM D695	7000 psi
Rendimiento a la flexión	ASTM D790 & ASTM D2412	6100 psi

Fuente: Topcor. *Splash Zone* protección contra la corrosión.

- Abrazaderas de compresión: Pinzas estructurales, elaboradas en metal galvanizado, calibradas de acuerdo al diámetro de la estructura que se desea proteger. Su función es fijar y ajustar la camiseta de la fibra de vidrio a la superficie.



Figura 1.42: Abrazaderas de compresión.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Espaciadores de neopreno: Son colocados una vez se ha dejado la superficie interior de la chaqueta totalmente lisa, cuya función es mantener un espesor uniforme del Riserbond en toda la camiseta.
- Otros materiales y equipos: Se usa un compresor de aire (350 CFM o más grande) para realizar el ajuste alternado de los pernos en las abrazaderas, empleando pistolas neumáticas. Con un taladro se mezcla uniforme ambos componentes del Riserbond. También se emplean espátulas para eliminar el rebabe del Riserbond que brota al exterior del Riserclad una vez ajustadas todas las abrazaderas de compresión. Además se requieren marcadores para señalar en la chaqueta la ubicación de las abrazaderas de compresión. Se utiliza *Super Glue* o un pegamento similar de iguales propiedades para pegar los espaciadores.



Figura 2.2: Vista aérea del Terminal Bayóvar.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

1.1.1.1 Especificaciones técnicas del muelle

El Muelle de Carga de combustible líquido del Terminal Marítimo Bayóvar fue construido entre los años 1974 – 1978, tiene una capacidad máxima de 250,000 toneladas (*Dead Weight*) y una longitud de 160 m. El Muelle es soportado por ciento ochenta (180) pilotes tubulares conformados según la norma BS 4360, con acero grado 43A, de 760 mm de diámetro externo y 20 mm de espesor de pared, con longitud de 30 a 31 m los pilotes verticales y de 33 a 36 m los pilotes inclinados, hincados hasta la roca subyacente de 1 a 5 m, distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 2.2: Distribución de pilotes.

UBICACIÓN DE PILOTES		CANTIDAD DE PILOTES		CARGA DE DISEÑO (TN)	
		VERTICALES	INCLINADOS	VERTICALES	INCLINADOS
ESPIGÓN DE ACCESO		6	16	125	125
PLATAFORMA DE CARGA		22	20	150	185
ANDÉN NORTE	Dolphin de atraque 1	6	18	150	185
	Dolphin de atraque 2	6	10	150	185
	Dolphin de amarre 1	1	6	150	185
	Dolphin de amarre 2	1	6	150	185
	Caballote de Pasarela 1	0	2	15	40
	Caballote de Pasarela 2	0	2	15	40
ANDÉN SUR	Dolphin de atraque 3	6	18	150	185
	Dolphin de atraque 4	6	10	150	185
	Dolphin de amarre 3	1	6	150	185
	Dolphin de amarre 4	1	6	150	185
	Caballote de Pasarela 3	0	2	15	40
	Caballote de Pasarela 4	0	2	15	40
NÚMERO TOTAL DE PILOTES		56	124	180	

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

Para una mejor visualización se adjunta en el Anexo A un plano de la distribución de los pilotes en el Terminal Bayóvar.

A continuación se muestran imágenes que permitirán observar la distribución y ubicación de los pilotes en la plataforma de carga, los *dolphins* de acoderamiento (*dolphins* 3, 4, 5 y

6), los *dolphins* de amarre (1, 2, 7 y 8) y el espigón de acceso.



Figura 2.3: Vista aérea del Terminal Bayóvar.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto-PETROPERÚ.



Figura 2.4: Vista del Dolphin 3 y 4, plataforma de carga y espigón de acceso.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 2.5: Vista del Dolphin 7.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

1.1.1.2 Características del entorno marino

La hidrografía piurana se encuentra definida principalmente por el volumen de las precipitaciones provenientes del Océano Pacífico, a su vez determinadas por el encuentro de dos corrientes marinas: la fría corriente de Humboldt de 13 a 19 °C, con la cálida El Niño de 21 a 27 °C, encuentro que ocurre en la costa sur del departamento, a la altura de la bahía de Sechura. Este fenómeno hace que la temperatura del mar en Piura sea variante y fluctúe entre 18 y 23 °C, durante los meses de invierno y primavera; y entre 23 y 27 °C durante el verano (a veces en el otoño con la extensión del verano).

La humedad promedio anual es de 66%, la presión atmosférica media anual es de 1008,5 hPa en tanto que los vientos que siguen una dirección al sur tienen una velocidad promedio de 3m/s. Las precipitaciones pluviales también muestran variaciones. En la costa generalmente bajan dentro de los 100 y 500 msnm oscilando en esta parte entre 10 y 200 mm; entre los 500 y 1500 msnm, las precipitaciones llegan entre los 200 y 800 mm y en la zona ubicada sobre los 1500 msnm el promedio de precipitaciones pluviales es de 1.550 mm.

Como referencia de los valores de ph en el mar de Bayóvar, puede considerarse $ph_{superficial}$ 7.97 y ph_{fondo} 7.81.

Los niveles de marea alta y baja diarios para Bayóvar en el 2012, pueden leerse de las tablas de mareas publicadas por IMARPE-Paita, adjuntas en el Anexo B.

1.1.2 Reseña del sistema de protección catódica

El Muelle Bayóvar cuenta con un sistema de protección catódica por corriente impresa, el cual desde su construcción hasta la fecha ha tenido varias adaptaciones en busca de una óptima protección contra la corrosión de la estructura, a continuación se detallan los cambios más notables que ha tenido el sistema de protección catódica del Muelle.

1.1.2.1 F.A. Hughes&Co. Limited

El sistema de protección catódica por corriente impresa del Muelle Bayóvar fue diseñado y construido por F.A. HUGHES and CO. LTD., como subcontratista de G. Wimpey, en el año 1977.

Este sistema de protección catódica por corriente impresa estaba conformado por dos transformadores rectificadores; uno colocado en plataforma de carga (T/R N°1) y el otro (T/R N°2) colocado en la zona del tablestacado cada uno de ellos conectado por cables, a los ánodos de Titanio platinado.

Los ánodos de titanio platinado transmitían la corriente continua proveniente de los transformadores rectificadores, al agua de donde pasa a la estructura, ya sean a los pilotes o el tablestacado. Según el diseño la estructura no debía quedar desnuda en más del 20% durante los 30 años de vida del sistema.

El T/R N°1 estaba ubicado en la plataforma de carga, era alimentado por un suministro trifásico de 480V y 60Hz y enfriado por aceite. Su salida de corriente continua era de 250 A. a 12V como máximo siendo ajustable en 64 etapas o posiciones, por medio de tres conmutaciones o *taps* de cuatro posiciones cada uno que podían ser operados con carga, para el área exterior del muelle. La corriente era distribuida por 10 ánodos de 25 A. de capacidad cada uno. El transformador podía trabajar en áreas peligrosas pues contaba con fusibles interruptores a prueba de llama instalados debajo del nivel de aceite, además poseía un rectificador de placas de selenio de onda completa.

El T/R N°2 brindaba protección al tablestacado y al muelle para embarcaciones menores. Estaba ubicado al lado de la playa del extremo de acceso del muelle, siendo alimentado desde la sala de distribución (ubicada sobre la plataforma de protección contra incendio), por medio de un suministro trifásico de 480V y 60Hz. Llegando a suministrar una salida de corriente continua de hasta 100 A, distribuidos por dos ánodos, fijos a los pilotes del muelle en el lado de la playa del muelle de acceso y por un tercer ánodo colocado en el fondo del mar al lado opuesto del centro del muelle para embarcaciones menores, a 12V como máximo que podía ser ajustado por 64 etapas por medio de tres conmutadores (*Taps*)

de cuatro posiciones cada uno, diseñados para ser operados con carga. La unidad era enfriada con aceite y se encontraba acoplada a un fusible interruptor a prueba de llamas. Además contaba con un interruptor de placas de selenio de media onda.

Los ánodos empleados eran de titanio, bañados con un capa fina de platino; estaban montados fijamente a los pilotes, colocados en sus monturas y aislados con fibra de vidrio. Los que eran alimentados por el T/R N°1 tenían una longitud de 750mm y un diámetro de 12mm con una salida de corriente de 25A. Los alimentados por el T/R N°2 eran similares a los anteriores, excepto en la longitud, los ánodos fijos a los pilotes tenían una longitud de 1.5m y el que estaba situado en el fondo del mar tenía una longitud de 3.66m, el cual estaba formado por dos unidades de 1.83m cada uno y 19mm de diámetro. Estas unidades estaban soldadas por medio de una junta encapsulada en resina epóxica. Los ánodos eran alimentados por los transformadores rectificadores a través de cables 2AWG y 1AWG.

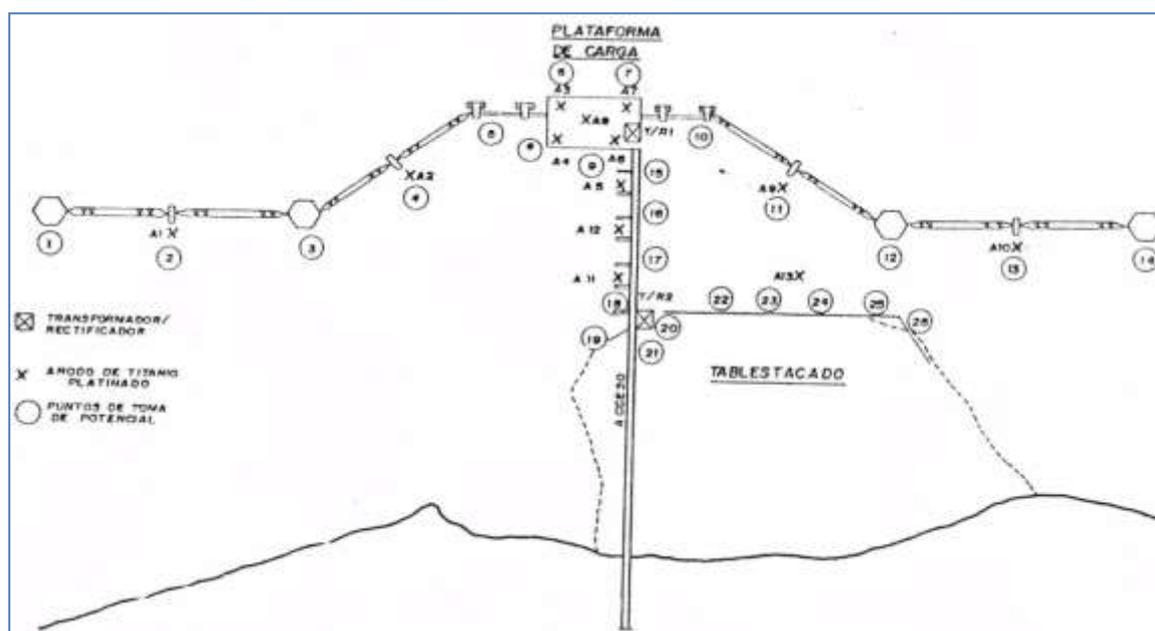


Figura 2.6 Disposición inicial del sistema de protección catódica.
Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

Las cajas de conexión a prueba de llama iban a un poste de terminal único en el cual se encontraban los cables de entrada de los ánodos y del transformador rectificador. Los cables eléctricos para la red de corriente continua eran de grado THW, aislados con cloruro de polivinilo (PVC) que se instalaban en conductos de acero.

En los ánodos del 1 al 12, los conductores eran de un solo núcleo de cobre 2/0 ó 2AWG, aislados con PVC. Cuando la estructura presentaba discontinuidades se instalaron conductores flexibles. En esos puntos se instalaron cables de continuidad negativa para preservar la continuidad del circuito catódico. El cable que alimentaba el ánodo en el fondo del mar, era de cobre con un solo núcleo de grado 1AWG de 5000V y aislado fuertemente con cloruro de polivinilo (PVC) este cable estaba tendido por medio de un conducto que llegaba hasta un punto bajo del nivel del agua y desde este punto prosigue en agua y tendido directamente hasta el fondo del mar.

1.1.2.2 *Cayserv EIRL*

Luego de la puesta en marcha del sistema de protección catódica, se efectuaron varios mantenimientos rutinarios de toma de potenciales y verificación de la protección del muelle. El mantenimiento más representativo previo a la repotenciación del sistema de

protección catódica fue en diciembre del año 1995, y lo llevó a cabo la empresa Cayserv EIRL.

Se realizó el mantenimiento del sistema de protección catódica tomando pruebas de espesores, limpiando incrustaciones, reemplazando abrazaderas, además se hicieron importantes observaciones y recomendaciones sobre el sistema de protección catódica.

El sistema de protección catódica presentaba problemas de continuidad y operatividad del T/R N°2 con lo cual la zona del espigón quedaba desprotegida, así como el tablestacado. Además debido a que las pérdidas de espesores de pared más significativas se encontraban en los *dolphins* de amarre, se decidió trasladar los ánodos de los caballetes a los *dolphins* de amarre. También de los cinco ánodos que se encontraban en la plataforma, 3 permanecerían allí, uno se reubicaría en el *dolphin* de atraque N°2 y otro ánodo en el *dolphin* de atraque N°3.

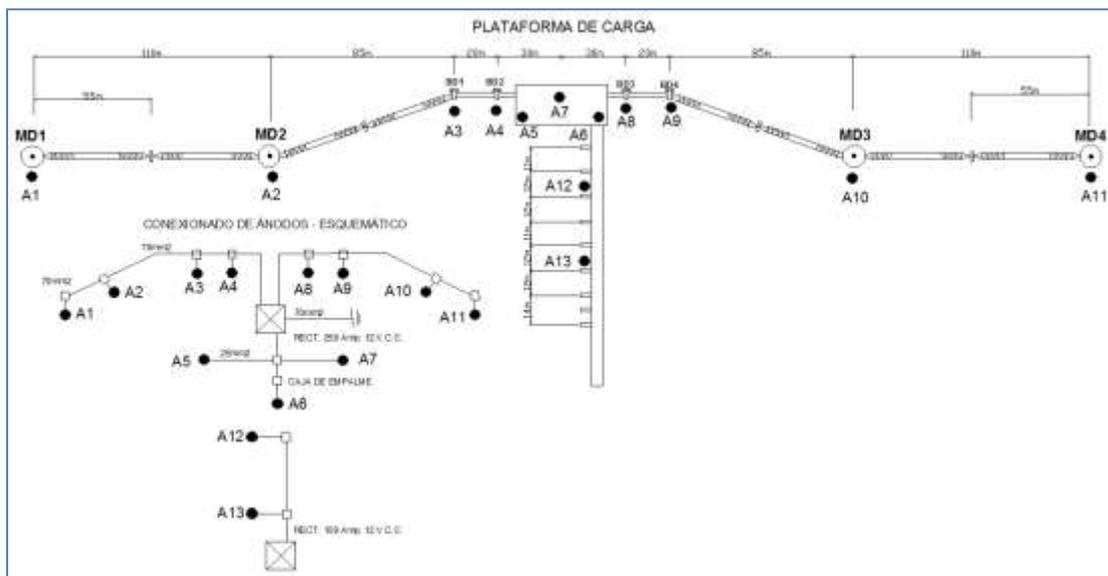


Figura 2.7: Reubicación de los ánodos de protección catódica.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

1.1.2.3 SCADI – CPT

En el año 2002 se realizó una evaluación del sistema de protección catódica del Muelle Bayóvar y se propuso un mejor diseño que superaría las deficiencias que venía presentando la configuración existente del sistema de protección catódica.

El contratista propuso a PETROPERÚ instalar 16 ánodos de MMO de 50 amperios de salida cada uno, en reemplazo de los ánodos de niobio platinado, debido a que tienen mayor vida útil y proporcionan mayor amperaje sin deteriorarse. Se determinó además un transformador rectificador para proteger cada una de las zonas del muelle, los cuales se instalarían de la siguiente manera: 3 en la plataforma de carga, para proteger el andén norte, andén sur y la plataforma de carga respectivamente; y el cuarto rectificador se ubicaría en el espigón de acceso que se encargaría para la protección del mismo. También se sugiere el cambio de las cajas de paso, las tuberías y accesorios de PVC, por materiales a prueba de explosión, que reaccionan mejor frente a la brisa marina y los rayos ultravioleta.

Los últimos reportes de las medidas de potenciales demuestran que el actual sistema de protección catódica brinda una aceptable protección al muelle de carga y descarga del Terminal Bayóvar. Pero la zona del tablestacado aún sigue sin protección catódica y

todavía no se ha planteado un sistema de protección anticorrosiva dedicado a la zona *splash* en los pilotes.

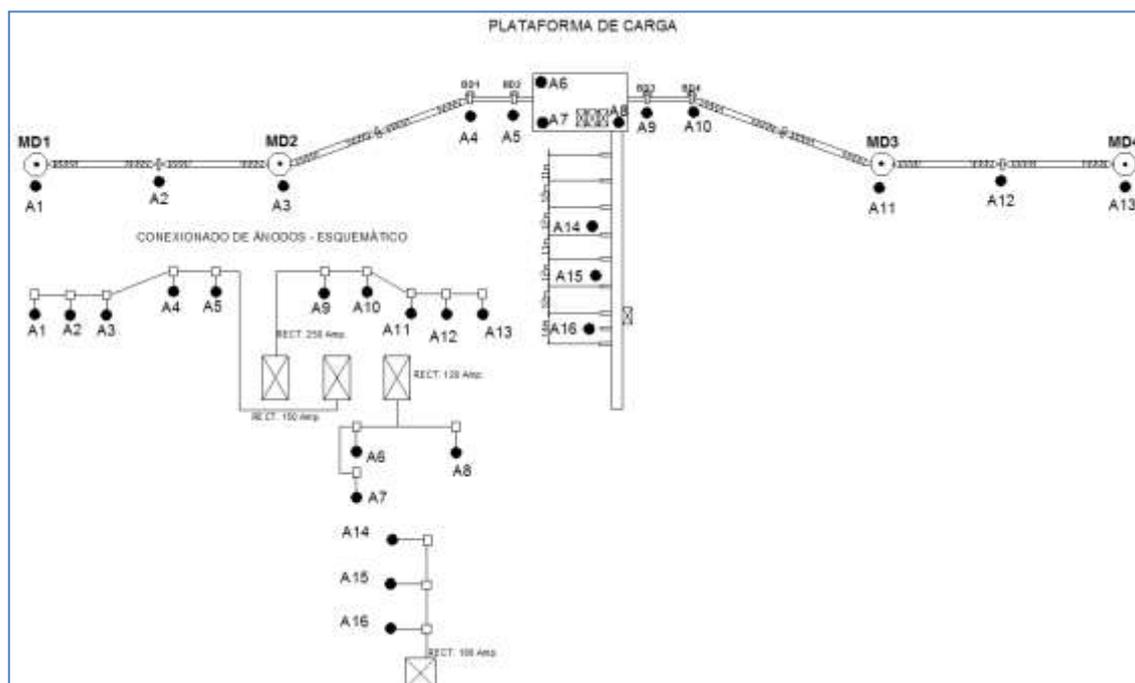


Figura 2.8: Disposición final del sistema de protección catódica.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

1.1.3 Descripción general del sistema de protección catódica

1.1.3.1 Transformadores rectificadores

El sistema de protección catódica en el Muelle del Terminal Bayóvar, está conformado por cuatro Transformadores - Rectificadores (T/R) a prueba de explosión, los cuales suministran corriente hacia la estructura a proteger por medio de los ánodos dispersores. Los rectificadores, están colocados sobre apoyos empotrados en una losa de concreto armada que permite a los cables que conecten todo el sistema a los T/R's. Estas unidades son enfriadas por aceite y alimentadas por un suministro trifásico de 480 voltios 60 Hz.

Tabla 2.3: Características de los T/R's del Muelle del Terminal Bayóvar.

T/R	ADC	VDC	Nº DE ÁNODOS	SECTOR QUE PROTEGE	UBICACIÓN
12TR1	250	12	5	Pilotes de andén sur	Plataforma de carga
12TR2	100	12	3	Pilotes de espigón de acceso	Espigón de acceso
12TR3	150	80	5	Pilotes de andén norte	Plataforma de carga
12TR4	120	80	3	Pilotes de plataforma de carga	Plataforma de carga

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

1.1.3.2 Ánodos de protección catódica

Los ánodos empleados en el muelle son del tipo *Mixed Metal Oxide* (MMO). La energía se distribuye en 16 ánodos de 50 amperios de salida cada uno. Los ánodos se encuentran montados fijamente a los pilotes, colocados en sus porta ánodos y aislados.

Tabla 2.4: Características de los ánodos del Muelle del Terminal Bayóvar.

Tipo	CPR SW20 60"x1" 30M-2AWG-ECTFE20-HMWPE65
Marca	CERANODE
Longitud	60 Pulgadas (1.53 m)

Diámetro	1 Pulgada
Capacidad	50 Amperios
Long. Cable	30 metros 2/0
Vida útil	20 años en agua de mar

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

1.1.3.3 Otros componentes del sistema

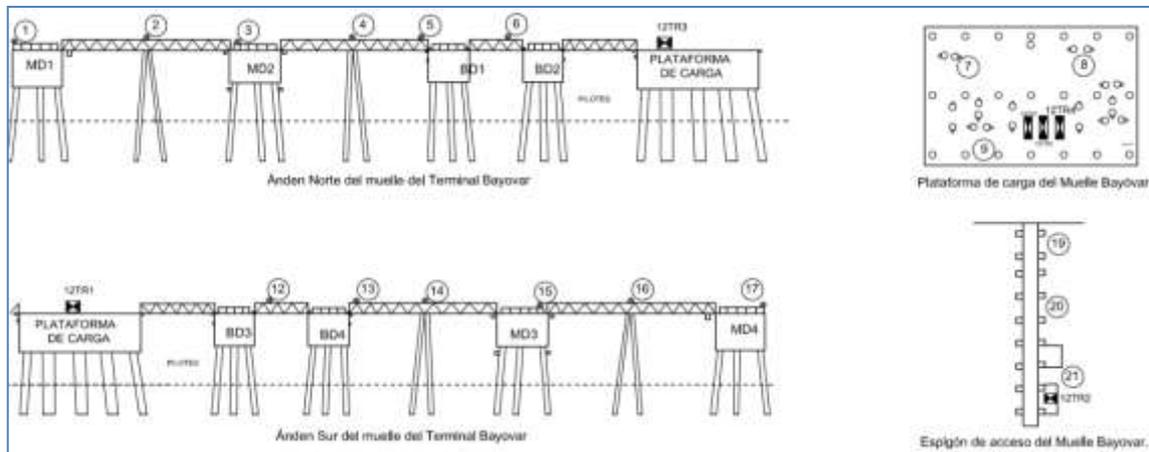


Figura 2.9: Disposición de los PTP en el muelle.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

Cables eléctricos

Los cables positivo y negativo que llegan a los T/R's son de 70 mm^2 (2/0 AWG) y están protegidos por una tubería de 1" de diámetro nominal, mientras que los cables de alimentación que provienen del CCM (Centro de control y mando) y llegan a una caja principal que contiene los interruptores del sistema en la plataforma de carga son de $3 \times 10 \text{ mm}^2$, de allí se reparten a los transformadores, protegidos por una tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

Los ánodos de MMO son alimentados desde los T/R's por cables N°2AWG y N°1AWG. La energía total necesaria para proteger la estructura del Muelle Bayóvar es de: 740 amperios y 40 voltios.

Cajas de paso en plataforma de carga

Son a prueba de explosión con una tapa fija por medio de pernos. En ellas se distribuye el cableado para alimentar los sistemas de los andenes y plataforma de carga así como el cableado negativo de la estructura.

Cajas de breakers (interruptores)

Son a prueba de explosión con una tapa con bisagras y un perno para que sea fácil abrirse en emergencias. Aquí llega la alimentación del CCM, un cable trifásico de $3 \times 10 \text{ mm}^2$, que se reparte a tres interruptores (uno de 50 A y dos de 60 A) para luego distribuirse a cada rectificador.

Cajas de conexiones a prueba de explosión

Se hallan en los puntos donde es necesario conectar la red principal con la bajada hacia los ánodos. Están fijadas sobre soportes soldados en la estructura de los andenes.

Puntos de toma de potenciales (PTP)

El tipo de caja empleado es el GUA 26 de Crouse Hinds, su función es facilitar la toma de potenciales.

1.2 Situación actual de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar

1.2.1 Última inspección realizada

En mayo del 2007 se realizó la inspección de 34 pilotes del Muelle de Carga Líquida del Terminal Bayóvar. La ubicación de los pilotes inspeccionados, se pueden apreciar en la fig. 2.10.

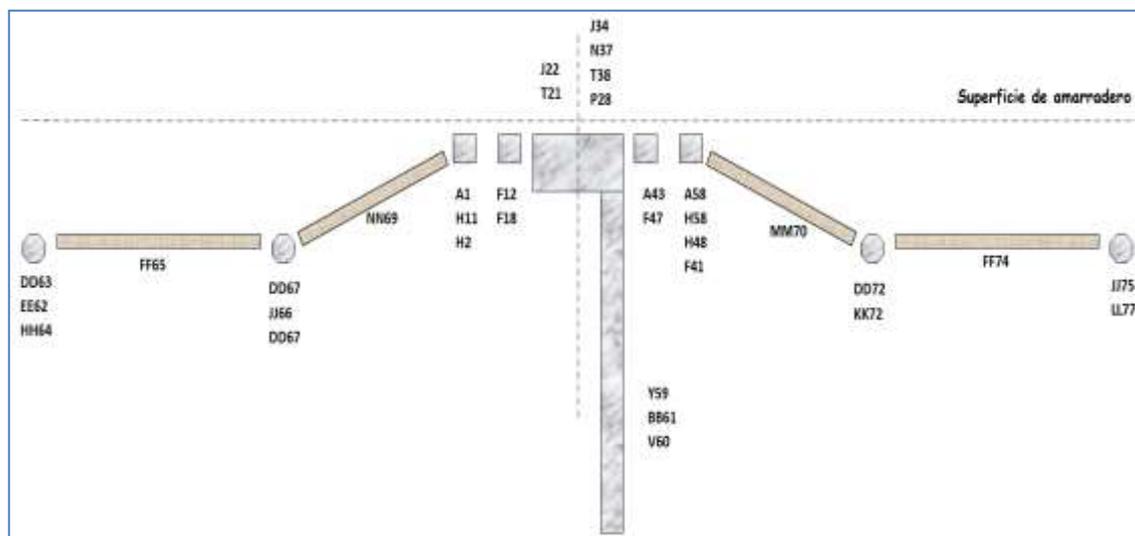


Figura 2.10: Distribución de pilotes inspeccionados.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

La inspección contempló lo siguiente:

- Limpieza mecánica utilizando el sistema de arenado, el cual se efectuó desde la parte superior de cada pilote seleccionado, donde afectaba la corrosión, hacia abajo. Hasta un total de 300 m^2 ; considerándose 30 pilotes, en una longitud de 3 metros aproximados y 4 pilotes en longitud mayor hasta completar los 300 m^2 .
- Inspección de la zona aérea y submarina, esta inspección implicó la verificación del estado corrosivo del pilote, cuantificación de pits y calibración del área en 2 zonas: para los pilotes a 3 metros (8 puntos) y 16 puntos para los pilotes considerados a 7 metros, además de la medición de la longitud limpiada.



Figura 2.11: Pilote arenado

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

1.2.1.1 Descripción del estado corrosivo:

Se encontró tres tipos de corrosión:

- La primera en la zona superior del *splash* afectada por los vientos y golpes de ola,

presentó una costra de corrosión de diferentes alturas y espesores, más notoria y desarrollada en los *dolphins* externos N° 1, 2, 7, 8 (los extremos) y menos desarrollada en los *dolphins* intermedios, plataforma y viaducto. Debajo de esta costra de óxido y luego del arenado se verificó zonas con desgaste de espesor y presencia de picaduras localizadas del tipo cráter y cilíndrico - cónico, con mayor intensidad en los pilotes de los *dolphins* externos. Esta corrosión “aérea” se pronuncia más en las caras Sur-Este (dirección de viento y golpe de olas).



Figura 2.12: Superficie de pilote afectada por *pits*.



Figura 2.13: Medición de *pits*.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

- El segundo tipo de corrosión se presentó en la zona húmeda, y es una franja de 1 a 2 metros con un desgaste parejo y generalizado, un tipo de corrosión erosión con presencia de una superficie irregular con crestas tipo cordillera y valles, en las cuales también se presentó *pits* tubulares, pero con menor intensidad que en la parte superior.



Figuras 2.14 y 2.15: *Pits* en zona húmeda

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

- En la zona inferior los pilotes presentan corrosión localizada, con presencia de *pits* aislados, de diferentes dimensiones que se prolongaban hasta el fondo. Ello se verificó, mediante inspecciones hechas en zonas a diferente profundidad.



Figuras 2.16 y 2.17: *Pits* en zona de pilotes por debajo de 5 metros del pelo de agua.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

- También se encontró un ataque diferente de corrosión por zonas. Estableciéndose 2 zonas de intensidad de corrosión a lo largo del Muelle:

Una zona crítica que contempla los *dolphins* 1 y 2, pilotes de caballetes. Dentro de esta zona, los pilotes de los *dolphins* 7 y 8 con mayor intensidad.

Una segunda zona menos crítica, que agrupa los pilotes del viaducto, la plataforma y *dolphins* 3, 4, 5, y 6.

1.2.1.2 Calibración de espesores:

De las calibraciones efectuadas se encontró, que los espesores tomados en zonas lisas, están entre 18 y 20 mm de los 22.5 mm nominales que tienen los pilotes, pero, cuantificando *pits*, los mismos que se encontraron hasta de 7 mm, hay espesores remanentes de 13 a 14 mm, que representan desgastes puntales entre el 40% a 48%.

Si se pretende analizar el estado estructural de los pilotes del muelle partiendo de la pérdida de espesor, se debe basar en los espesores medidos sin considerar *pits*, pues estos son puntales y salvo en los pilotes de los *dolphins* 7 y 8, no abarcan áreas importantes. De acuerdo a esto podemos decir que el espesor de los pilotes perdió un promedio de 3.5 mm, que corresponde a un 15% del material.

La pérdida de resistencia estructural por la disminución del espesor de los pilotes, no afecta el normal desenvolvimiento del Muelle, pues el diseño de espesores de los pilotes es sobredimensionado, además algunos están rellenos con concreto armado. Pero debe tenerse en cuenta que de no tomar las medidas correctivas y preventivas pronto, estos leves problemas podrán poner en riesgo el buen funcionamiento del Muelle.

1.2.2 Medidas correctivas y preventivas llevadas a cabo

1.2.2.1 Enmasillado de pilotes

Terminados los trabajos de arenado e inspección se empleó un revestimiento epóxico, formulado para aplicación submarina en superficies de acero, el cual se colocó a un espesor de 2 mm en las zonas arenadas o limpiadas con chorro de agua y en otras áreas con protección deficiente. El revestimiento devolvió el recubrimiento protector al pilote en las zonas inspeccionadas cuyo recubrimiento original se había desprendido.



Figura 2.18: Pilote enmasillado. Figura 2.19: Trabajo de enmasillado de un pilote.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

Tabla 2.5: Características técnicas de la masilla aplicada.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Aspecto de la Película	Mate
Color	Negro
Componentes	2
Relación de mezcla	1 volumen Parte "A" y 1 volumen Parte "B"
Sólidos por volumen	100 %
Rendimiento teórico	1.20 m ² /gal a 3mm. de espesor seco aprox.
Espesor de película recomendado	1/8 - 1/4 pulgada.
Tiempo de inducción	No requiere
Vida útil de la mezcla	30 minutos al medio ambiente (25 °C)
Tiempo de secado	1 hora bajo el agua 25 °C, (en un galón de mezcla)
Película dura al tacto	16 horas
Curado total	8-15 días, dependiendo del espesor de película y de la temperatura del agua
Método de aplicación	La aplicación es manual, empastando y presionando el producto a la superficie, desplazando el agua hasta obtener una película de espesor uniforme.
Modo de preparación	Mezclar los componentes 327-500 y 331-200, manualmente por un tiempo de cinco a diez minutos para asegurar la total homogeneización.
Presentación	Aurosplash 1 gal - 1/4 gal.

Fuente: Pinturas Aurora. Hoja de informaciones técnicas.

1.2.2.2 Monitoreo de potenciales

Descripción de la prueba

Uno de los aspectos determinantes para verificar la protección catódica, es la medida del potencial de la estructura, que debe permanecer entre -800 y -1200 mV tomando como referencia electrodos de plata cloruro de plata.

El potencial de la estructura se mide conectando el terminal negativo de un voltímetro de alta resistencia a la estructura y el terminal positivo del voltímetro a un electrodo de referencia, en este caso el electrodo de plata cloruro de plata.

Una lectura inferior al valor señalado, indicará que no existe suficiente protección o hay alguna desconexión; una lectura superior probablemente ocasionará daño al revestimiento de los pilotes.

Resultados obtenidos

En la Figura 2.20 se aprecia que los valores de potencial medidos en la estructura del sistema de protección catódica, en los años 2001 y 2002, en su mayoría distan mucho del rango de protección. Luego de la repotenciación del sistema de protección catódica en el

año 2003, hasta el año 2006 el potencial de protección del muelle se mantiene dentro del rango (-1200 a -800 mV).

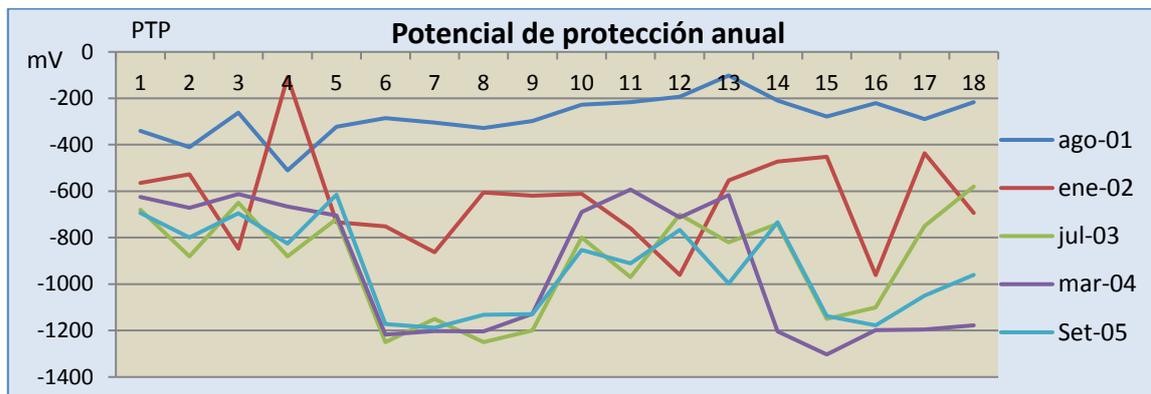


Figura 2.20: Potenciales de protección medidos (2001-2005).

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia datos tomados por el Departamento mantenimiento Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

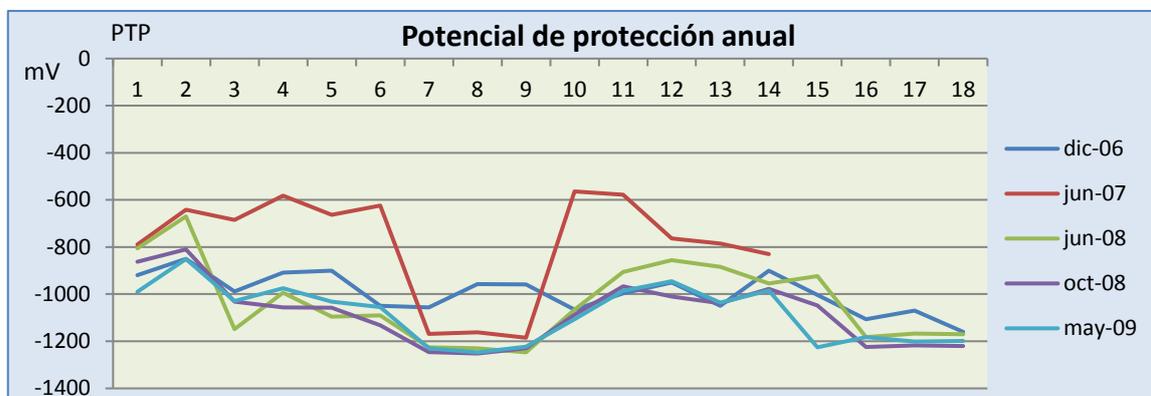


Figura 2.21: Potenciales de protección medidos (2006-2009).

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia datos tomados por el Departamento mantenimiento Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

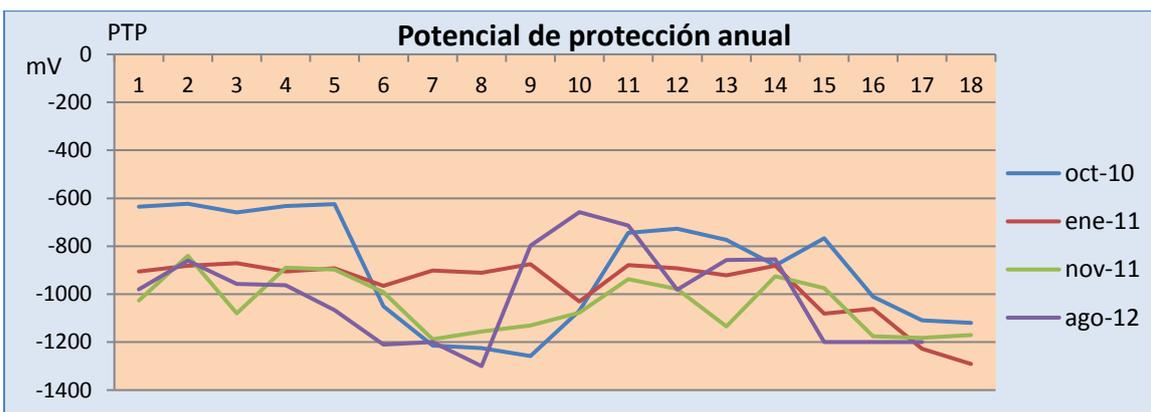


Figura 2.22: Potenciales de protección medidos (2010-2012).

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia datos tomados por el Departamento mantenimiento Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

En el año 2007 los valores de potencial se alejan notablemente del rango aceptable, lo cual se ilustra en la Figura 2.21 Para disminuir la alta dispersión de los potenciales, en el 2008 se corrige el retorno de la corriente de protección conectando directamente los pilotes a la estructura, evitando alguna interferencia de corriente que, además, pueda corroer la estructura y los ánodos.

De lo ilustrado en la Figura 2.22 podemos afirmar que actualmente el sistema de protección catódica muestra un comportamiento aceptable, con algunas limitaciones las cuales tienen su origen en situaciones como:

- Fallas en los transformadores, que origina altas temperaturas. Además, el deterioro de sus accesorios facilita la fuga de aceite.



Figuras 2.23 y 2.24: Fuga de aceite en T/R N°1.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Fallas en el CCM (Centro de control y mando) lo cual puede traer consigo una inadecuada alimentación a los rectificadores.
- Corrosión en los puntos de toma de potencial, ubicados a lo largo del muelle, en algunos casos las cajas GUA no están, en otros se requiere de un cambio inmediato.



Figuras 2.25 y 2.26: PTP's con evidente corrosión.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- El caliche marino recubre los porta ánodos impidiendo el drenaje efectivo de la corriente de protección. Además, en su mayoría, los ánodos presentan óxido. En algunos casos el peso de los organismos marinos que se adhieren terminan rompiendo las conexiones, es por ello que algunas veces se presenta el problema de ánodos aislados o de zonas de la estructura que no alcanzan el potencial de protección necesario, debido a este tipo de desconexiones.

Son aproximadamente cerca de 10 años de operatividad de los ánodos desde su instalación, y en una aplicación marina se consume más corriente, durante las últimas inspecciones realizadas se verificó que en el andén norte, plataforma central y pasarela se encuentran en niveles de protección aceptables, eso quiere decir que pese al tiempo y ciertas deficiencias, los ánodos están trabajando y aún drenan la corriente necesaria para proteger la estructura, el problema de que en todo el muelle no se mantenga el potencial de protección se debe algunas veces a las desconexiones existentes y las razones que se vienen detallando.



Figura 2.27: Porta ánodos con caliche en la zona intermarea.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

1.2.3 Condición actual de la zona *splash* en los pilotes

Esta zona de salpicadura se encuentra especialmente corroída debido a muchos factores. Como es una superficie continuamente mojada, las películas de herrumbre no tienen oportunidad de secarse y desarrollar sus propiedades protectoras, además las salpicaduras, oleaje, etc. hacen que esta zona esté cubierta siempre de una delgada película de alto contenido salino, donde la difusión del oxígeno, se efectúa con mucha facilidad. La acción de la temperatura, promueve rápidos ciclos de humectación - desecación, conduciendo a la formación de depósitos salinos altamente higroscópicos, todo esto favorece aún más el proceso de corrosión.

Últimas inspecciones visuales realizadas en el 2012 han permitido apreciar lo siguiente:

- La masilla epóxica aplicada en el servicio del 2007, ya ha cumplido su vida útil, que aproximadamente comprende un periodo de 4 a 5 años. En la mayoría de pilotes que fueron enmasillados se aprecia el desprendimiento de la misma, en otros pilotes es sencillo retirar la masilla con la mano, pues hay zonas en las que ésta se encuentra levantada. También se encontró pilotes con ampollas en el recubrimiento. Por otro lado, algunos pilotes conservan en estado aceptable el revestimiento. Las zonas que presentaban un mayor desprendimiento fueron los pilotes de los dolphins extremos N° 1, 2, 7 y 8 y en los pilotes de los caballetes de la pasarela.



Figuras 2.28 y 2.29: Pilote con desprendimiento de masilla.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Fijación de organismos animales y vegetales en la zona *splash* de los pilotes localizados en los caballetes, los *dolphins* de amarre y con mayor presencia en los *dolphins* de atraque.

Producida la incrustación, estos organismos ejecutan sus ciclos biológicos

desarrollándose y creciendo hasta adquirir formas voluminosas. Finalmente durante su desarrollo o al morir, las incrustaciones llegan a destruir los revestimientos protectores o pinturas anticorrosivas aplicadas sobre la estructura, perforándola o arrancándola, con lo cual el metal queda directamente expuesto a la corrosión.



Figuras 2.30, 2.31 y 2.32: Caliche adherido en la zona *splash* de los pilotes.
Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figuras 2.33: Se aprecia que los microorganismos han retirado consigo parte del recubrimiento.
Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Picaduras localizadas que a la larga comprometen seriamente la estabilidad y resistencia mecánica del muelle. En las condiciones marinas de trabajo, el sistema de masilla aplicado no confiere larga duración por un periodo superior a 4 años, pues una vez deteriorado el recubrimiento, el acero sin protección alguna permanece en contacto directo con el medio agresivo, lo cual propicia la corrosión.



Figura 2.34: Se aprecia que los microorganismos han retirado consigo parte del recubrimiento.

Fuente: Departamento mantenimiento. Operaciones Oleoducto - PETROPERÚ.

Capítulo 3

Pruebas de sistemas de protección anticorrosiva para estructuras marinas

En la sección anterior se describió la condición actual de los pilotes en el muelle del Terminal. Frente a esa problemática, con el conocimiento de los lineamientos descritos en el capítulo 1, se realizó en siete pilotes la aplicación de los sistemas anticorrosivos para estructuras marinas en funcionamiento, más representativos del mercado. Siendo el objetivo de las instalaciones identificar ¿Cuál es el sistema más idóneo para la protección contra la corrosión en los pilotes?, considerando que la zona *splash* es la más crítica.

3.1 Condiciones de las pruebas

3.1.1 Elección de pilotes a evaluar

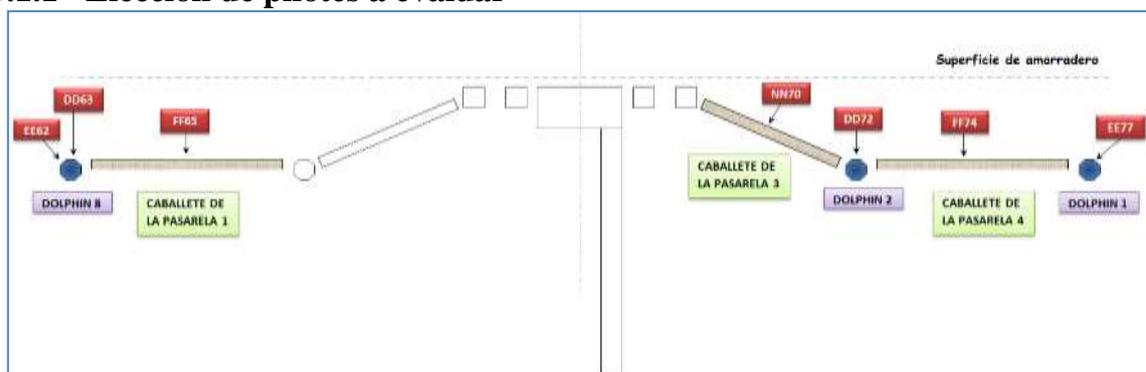


Figura 3.1: Ubicación de pilotes seleccionados para prueba.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Las condiciones de prueba, se definieron con la intención de seleccionar un sistema protector que pueda ser usado en todos los pilotes aún para las circunstancias más complicadas, tanto en las labores de instalación como en el periodo de vida útil del sistema. Para la elección de los pilotes en los cuales se aplicarían los sistemas de protección anticorrosiva, se designó a aquellos que conforme a la última calibración de espesores y medida del “rate” de corrosión, presentaron mayor grado de desgaste en las paredes del pilote, también aquellos que están más expuestos a los efectos abrasivos de las olas y de la atmósfera marina, así como los pilotes en los cuales el enmasillado aplicado anteriormente se ha desprendido o presenta indicios de próximos levantamientos de la masilla. También se buscó hacer en lo posible más dinámica la instalación, eligiendo pilotes de práctico acceso.

Por lo antes expuesto, fue que se eligieron pilotes de los caballetes de la pasarela y de los “dolphins” de amarre, donde las facilidades de acceso son mejores y, además se sitúan los pilotes más expuestos a las condiciones antes descritas.

Tabla 3.1: Ubicación de pilotes seleccionados para prueba.

UBICACIÓN	DESIGNACIÓN DE PILOTE
Dolphin 1	EE77
Caballote de la pasarela 4	FF74
Dolphin 2	DD72
Caballote de la pasarela 3	NN70
Caballote de la pasarela 1	FF65
Dolphin 8	DD63
Dolphin 8	EE62

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.1.2 Determinación de longitud a recubrir

La determinación de la longitud de pilote que se debe recubrir, se hizo considerando como referencia los niveles de marea alta y baja proporcionados por las tablas de IMARPE, donde se establece en su mayoría una diferencia entre mareas de 80 a 90 cm.

Para las pruebas piloto se determinó como longitud a recubrir 3.5 metros, en los cuales se considera 1.5 metros como zona “*splash*” sobre marea alta en la zona de salpicadura, 1 metro entre mareas y 1 metro bajo el nivel de marea baja.

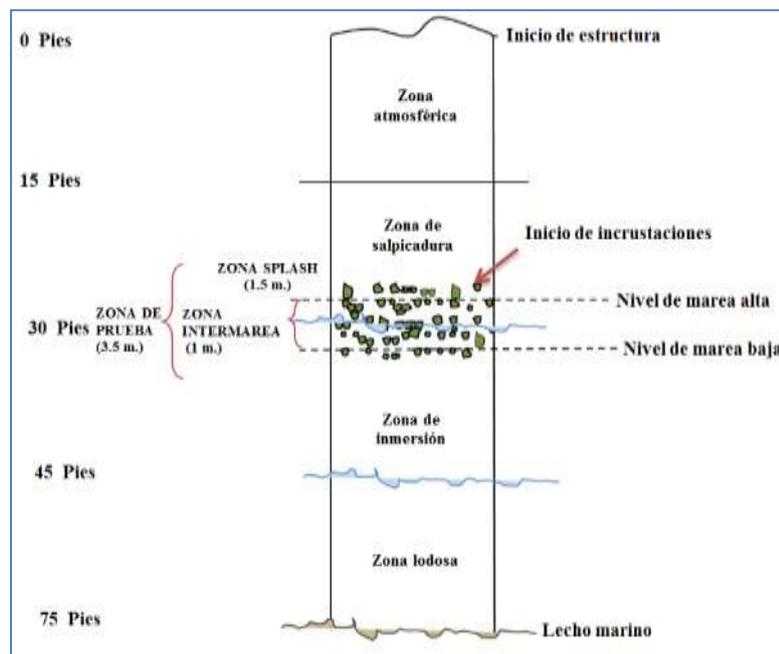


Figura 3.2: Zona de aplicación del revestimiento.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2 Aplicación de sistemas de protección anticorrosiva

En la etapa de investigación de las posibles soluciones para la protección de la zona “*splash*” de los pilotes, se logró contactar con diez proveedores especialistas en protección anticorrosiva para estructuras marinas.

Se les planteó la necesidad del muelle y se les explicaron las condiciones bajo las cuales se llevarían a cabo las pruebas de instalación. Cada uno expuso su mejor oferta, incluso dos de los proveedores decidieron proponer dos sistemas de protección anticorrosiva.

Después de seleccionar los sistemas más aplicables a las condiciones en el muelle del Terminal Bayóvar, que se ajustaban a los lineamientos establecidos, referidos, entre otros, al cronograma y a la importación de insumos. Se coordinó la realización de las pruebas con siete sistemas. A continuación se lista en la Tabla 3.2, los sistemas aplicados como prueba, para posteriormente detallar cada una de las instalaciones llevadas a cabo en siete pilotes del Terminal.

Tabla 3.2: Sistemas aplicados como prueba en el Terminal.

SISTEMA	PILE SHIELD SYSTEM	SYNTHO SHIELD	FX-70	APE	RISERCLAD	SHAIC & STOPAQ	STOPAQ
PROCEDENCIA	Houston						
				EEUU		Corea/Holanda	Holanda
DISTRIBUIDOR OFICIAL	Trenton	NRI	Fox industries	Degusa	TopCor	Shaic/Stopaq	Stopaq Europe
DISTRIBUIDOR AUTORIZADO		Morken Perú	Sherwin Williams Perú	BASF Construction	Inblasa	Maincco S.A.	
FECHA DE PRUEBA	24.04.12	30.04.12	08-10.05.12	14-16.06.12	05.07.12	09.06.12	06.07.12
PILOTE DE PRUEBA	EE77	FF74	DD72	FF65	EE62	NN70	DD63
DURACIÓN DE PRUEBA	5 hrs.	3 hrs. 40 min.	12 hrs.	14 hrs.	9 hrs.	7 hrs.	4 hrs. 30 min.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.1 Sistema de enchaquetado de pilotes (*Pile shield system*)

El 23 de abril de 2012 la ingeniera asignada por la empresa Morken Perú (distribuidor de Trenton), hizo una visita técnica de reconocimiento del área de trabajo y verificación de las condiciones de preparación de la superficie del pilote. También se almacenaron los materiales que se emplearían en la realización de la prueba piloto del siguiente día.

El 24 de abril de 2012 se realizó la aplicación del *Pile Shield System* en el pilote EE77 del *dolphin* 1 en el andén sur. Para la supervisión de los trabajos asistieron la ingeniera asignada por Morken Perú y el especialista en enchaquetado de pilotes de la Corporación Trenton.

Para la instalación del sistema propuesto se procedió de la siguiente manera:

- Se preparó la superficie mediante una limpieza manual mecánica, que permita dejar completamente libre de óxido o material suelto de algún otro recubrimiento previo que haya tenido la estructura. Para obtener un mejor acabado se realizó un arenado a metal casi blanco, el cual fue hecho con veinticuatro horas de anticipación.

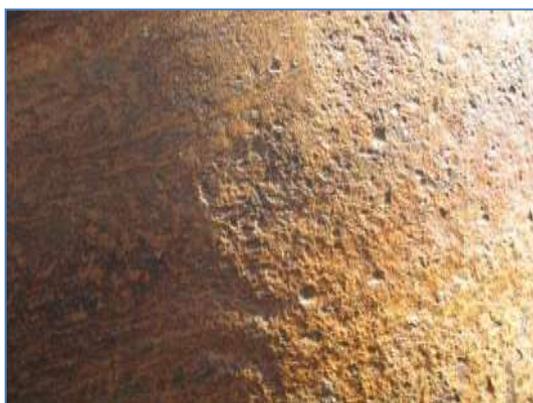


Figura 3.3: Superficie arenada pasadas 24 horas.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.4: Limpieza hidráulica.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Previo a la aplicación del *primer*, se limpió el pilote con chorro de agua para retirar la película de óxido formada por el paso de las horas, luego de haber sido arenado el pilote, con ello se logró conseguir una superficie más limpia y mejor preparada.

- El “*pile primer*” se aplicó manualmente en capas finas sobre la superficie, con la finalidad de desplazar la humedad, para ello se recomienda frotar y presionar en la aplicación. Se debe cubrir totalmente la superficie a proteger, tanto la parte superior e inferior del nivel de agua.



Figura 3.5: Aplicación del “*pile primer*”.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- La aplicación del *waxtape* #1 (“*pile inner wrap*”), se inició desde la parte inferior siguiendo una dirección en espiral y considerando un 50% de traslape. Para adherir la cinta de manera uniforme al metal, se debe tensionar y presionar lo necesario para evitar que bolsas de aire y agua queden atrapadas debajo de la cinta, además hay que alisar con la mano todos los bordes para sellar bien los traslapes.



Figuras 3.6 y 3.7: Colocación del “*inner wrap*” y aplicación finalizada.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

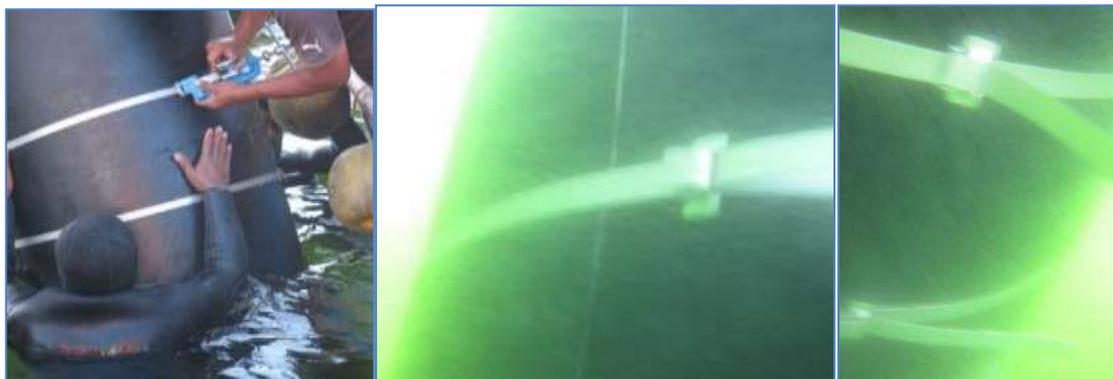
- Se colocó la cubierta (“*pile shield*”) alrededor de la estructura a proteger, lo más ajustada posible. Debido a que la longitud excedía los dos (02) metros, la cubierta fue colocada en dos partes, cada una de ellas tenía una longitud de 1.75 metros. Se procura evitar el traslape longitudinal en la misma cubierta, así como el traslape entre cubierta y cubierta, lo ideal es que se coloquen una sobre otra.



Figuras 3.8 y 3.9: Colocación de cubierta inferior y superior.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se colocaron las bandas de acero AISI 316, la primera banda en medio de la cubierta y las siguientes a dos o tres pies de separación, procurando que los cintos externos no se hallen a más de un pie de separación de los bordes de la cubierta.



Figuras 3.10, 3.11 y 3.12: Ajuste de las bandas de acero AISI 316 y vista acuática de las bandas de acero

Fuente: Moscol Tania, 2012.

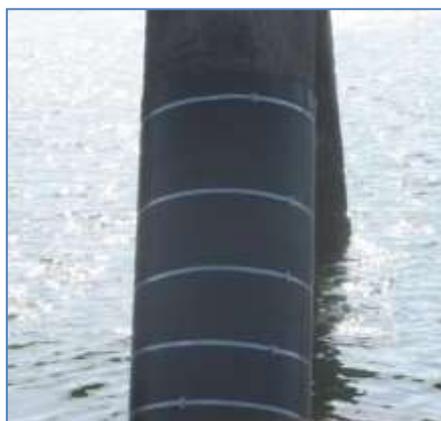


Figura 3.13: Pilote EE77 con el sistema “*Pile Shield*” aplicado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.2 Sistema Syntho shield

El 19 de abril de 2012 la ingeniera designada por el distribuidor Morken Perú hizo una visita técnica junto con el representante comercial de NRI, para el reconocimiento del área de trabajo y prever cualquier imprevisto durante la prueba.

El 30 de abril de 2012 se realizó la aplicación del “Syntho shield” en el pilote FF74 del caballete de la pasarela 4 en el andén sur. Para la supervisión de los trabajos asistió la ingeniera de la empresa Morken representante de NRI en Perú.

Para la aplicación del sistema Syntho shield se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Mediante limpieza manual mecánica se preparó la superficie, dejando completamente libre de óxido suelto a la estructura. Debido a que el arenado había sido realizado hacía cinco días. Se procedió a retirar la herrumbre con malla y cepillo con cerdas de acero, para luego aplicar una limpieza hidráulica.



Figuras 3.14 y 3.15: Limpieza manual y limpieza hidráulica.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se aplicó manualmente una fina capa del primer Denso, cubriendo totalmente la superficie a proteger tanto bajo el nivel del mar como en la zona atmosférica. Para obtener un mejor resultado es recomendable frotar y presionar y así lograr desplazar la humedad de la superficie.



Figura 3.16: Aplicación del “primer” Denso.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- La cinta de petrolato fue colocada desde el extremo inicial, unos centímetros por encima de la distancia a cubrir, tensionando y presionando firmemente sobre la superficie; la aplicación se debe hacerse desenrollando la cinta alrededor de la estructura para evitar

que la brecha libre entre la superficie y el rollo se peguen entre sí. Empleando la suficiente tensión para causar continua adhesión y cuidando no estirar la cinta. La aplicación debe ser hecha con un 50% de traslape y mientras se envuelve se presionan todas las bolsas de aire y los pliegues para asegurar la adherencia. Terminada la aplicación de cada rollo se presionan los bordes con la mano en la dirección del espiral para asegurar el sellado del traslape.



Figuras 3.17 y 3.18: Aplicación de la cinta de petrolato.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Para la aplicación del “*syntho glass*”, se debe abrir el contenedor hasta el momento preciso de la instalación. La cinta es colocada en espiral alrededor de la estructura a proteger, considerando 50% de traslape. La cinta es desenrollada lo más cerca del punto de aplicación y es colocada aplicando la suficiente tensión. Una vez cubierta el área a proteger, en la segunda capa se cambia la dirección de la aplicación.



Figuras 3.19 y 3.20: Aplicación del “*syntho glass*”.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se coloca la cinta de compresión sobre y en la dirección de la última capa del “*syntho glass*”, con la finalidad de obtener un mejor curado de la cinta de fibra de vidrio. Luego perforar la cinta de compresión con ayuda de un rodillo, para eliminar el agua que pueda haber quedado atrapada entre el “*syntho glass*” y la cinta de compresión.



Figuras 3.21 y 3.22: Colocación y perforación de la cinta de compresión.
Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.23: Pilote FF74 con el sistema “Symtho shield” aplicado.
Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.3 Sistema FX - 70

Del 08 al 10 de mayo de 2012, se realizó la instalación del sistema en el pilote DD72 en el *dolphin 2* del andén sur. Estuvieron presentes durante los trabajos, personal de Sherwin Williams, el representante de Fox Industries y personal de la empresa Sermabú S.A.

A continuación se detalla el procedimiento seguido para la aplicación del sistema.

08 de mayo del 2012

- Inicialmente se explicó al personal de buceo en qué consistía el sistema y el procedimiento a seguir durante la aplicación, mediante una charla de inducción.



Figura 3.24: Charla de inducción sobre el sistema FX-70
Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se colocó una base soporte, dos pulgadas por debajo del punto inferior de la distancia a proteger. Este soporte se ajustó al pilote brindándole el ángulo apropiado, para apoyar en él la primera chaqueta y así mantener la misma inclinación de la superficie a cubrir. Esta estructura sirvió de base para apoyar la primera chaqueta y mantener una correcta estabilidad.



Figura 3.25: Base soporte.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

09 de mayo del 2012

- Se realizó una limpieza con rasquetas y cepillo con cerdas de acero, para retirar la película de óxido formada. Por recomendación de los representantes, no se requiere una superficie tan preparada para la aplicación.



Figura 3.26: Limpieza manual del pilote.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.27: Colocación de masilla en la junta.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Previo a colocar la chaqueta en la estructura, se agrega la masilla epóxica multifuncional insensible al agua, cubriendo totalmente ambas partes de la junta de la chaqueta para pegar el corte longitudinal y así sellar las uniones evitando que se fugue el “grout” al vaciarse dentro del espacio anular.

- Se instaló la primera chaqueta sobre el soporte base que se ha instalado previamente. La segunda cubierta se apoya sobre la primera, la cual cuenta con una terminación especial en donde encaja, manteniendo así la dirección con el pilote.



Figura 3.28: Colocación de la primera chaqueta.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- En el borde inferior de la chaqueta se colocó un sello de espuma de polipropileno expandido, embebido con masilla epóxica, insensible al agua de baja viscosidad y de alta fluidez en la aplicación y humectación. Con este sello se cerró el espacio anular en la parte inferior y se dejó curar medio día, para que pueda resistir la presión que se ejerce en el vaciado total del “grout”.

Posteriormente se sujetaron las chaquetas con unas correas ajustables tipo zunchos, para mantener estables las cubiertas durante el llenado del “grout”. Se recomienda iniciar la colocación desde la parte superior ajustando la correa al 70%, luego deslizarla hasta la posición deseada y una vez en la ubicación final regular más el ajuste.

- La preparación del “grout” se hace mezclando, en un recipiente libre de agua o cualquier sustancia, un galón del componente A, uno del componente B y el Epoxy Hidro Ester. Para formar una sola unidad, se emplea una varilla de mezclado acoplada a un taladro.



Figuras 3.29, 3.30 y 3.31: Mezcla de los componentes A/B y Epoxy Hidro Ester.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- La composición homogénea del “grout” se agregó en el espacio anular, procurando no dejar poros, discontinuidades o uniones. En el vaciado inicial se colocaron tacos de madera como separadores, para incrementar el espacio anular, pero una vez vaciado el “grout” es necesario que los separadores de madera sean retirados, pues la concetricidad la dan los apoyos incorporados en la pared interior de cada una de las

cubiertas. Se cubrió inicialmente una altura de 30 centímetros que conforma el anillo o base anular.



Figura 3.32: Vaciado de “grout” en chaqueta inferior.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

10 de mayo del 2012

- Para la colocación de la chaqueta superior se siguen los mismos procedimientos realizados para la instalación de la primera chaqueta y el vaciado hasta llenar el anillo base. Colocada la chaqueta superior se procede al llenado de toda la camisa.



Figuras 3.33, 3.34 y 3.35: Limpieza del pilote, aplicación de la masilla y colocación de la chaqueta superior.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Para incrementar la resistencia durante el vaciado de la resina “grout”, se colocan remaches en el empalme longitudinal de la cubierta en la parte aérea de la chaqueta, con la ayuda de un taladro.



Figura 3.36: Aplicación de remaches.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figuras 3.37, 3.38 y 3.39: Colocación de correas, preparación del “grout” y vaciado en chaqueta superior.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Llenado el espacio anular, se sellan los bordes superiores y las uniones entre chaquetas de todos los elementos que conforman el sistema. Luego de unas horas de curado se retiran las correas ajustables (zunchos) y quedará terminada la aplicación.



Figura 3.40: Sellado de las uniones en las chaquetas.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.41: Pilote DD72 con el sistema FX – 70 aplicado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.4 Sistema Shaic y Stopaq

El 17 de mayo de 2012, el jefe de proyectos de Maincco S.A., junto con dos personas de su equipo técnico; realizaron una visita a las instalaciones del Terminal Bayóvar, para reconocimiento del área de trabajo y hacer una exposición del sistema que proponen, para proteger de la corrosión los pilotes del muelle.

El 09 de junio de 2012 se realizó la instalación del sistema en el pilote NN70 del caballete de la pasarela 3 en el andén sur. Para la aplicación asistieron el ingeniero encargado y dos personas del equipo de Maincco S.A. y realizaron el siguiente procedimiento:

- Implementación de facilidades, asegurando las sogas, en la parte superior del área de trabajo, para sujetar y amarrar el balso y así poder variar la altura a la cual se debe trabajar. La función del balso fue brindar estabilidad y seguridad al personal encargado de la aplicación.



Figura 3.42: Colocación de balsos en el andén.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se preparó la superficie del pilote, removiendo cualquier presencia de tierra, aceite, grasa, óxido suelto o cualquier otra sustancia extraña mediante cepillo metálico, cincel, solvente o equipo abrasivo.



Figura 3.43: Limpieza manual de los pilotes.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.44: Aplicación del *primer* en la parte aérea.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Manualmente se aplicó la pasta de petrolato Shaic PT-310PS sobre la superficie del pilote, distribuyéndola uniformemente, para rellenar los poros.

- Para la aplicación de la cinta de petrolato Shaic PT-310M. Se enrolla de manera helicoidal alrededor del pilote con un traslape de 50%, comenzando en la parte aérea y terminando en la zona marina. Las dimensiones del rollo son 1.25 mm (espesor), 300 mm (ancho) y 10 m (longitud).



Figura 3.45: Colocación de la cinta de petrolato.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- En la aplicación de la cinta de PVC Shaic PT-320, tal como se puede apreciar en la Figura 3.46, se enrolló de manera helicoidal alrededor del pilote con un traslape mínimo de 1", iniciando en la zona aérea y terminando en la zona marina. Las dimensiones del rollo son 0.2 mm (espesor), 300 mm (ancho) y 30 m (longitud). Se aplica la suficiente tensión para obtener un buen ajuste a la superficie.
- La cinta protectora Stopaq, se colocó enrollando de forma anular alrededor del pilote con un traslape de 50%, hasta recubrir la totalidad de la sección escogida del pilote. Tal como se aprecia en la Figura 3.47.



Figuras 3.46 y 3.47: Aplicación de la cinta de PVC y colocación de la cinta Stopaq.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Posteriormente se instalan los sunchos plásticos, colocándolos sobre la cinta Stopaq, para brindar un mejor ajuste.



Figura 3.48: Pilote NN70 con el sistema Shaic & Stopaq aplicado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.5 Sistema de encapsulamiento avanzado de pilotes (*Advanced pile encapsulation –APE-*)

El ingeniero encargado de proyectos de la empresa BASF S.A proveedora del sistema APE en Perú, realizó dos visitas de inspección al Terminal:

- La primera el 28 de febrero de 2012 acompañado por los gerentes de BASF y RENADSA, para ver las facilidades y el reconocimiento del área de trabajo y dar inicio a la planificación de la prueba.
- La segunda visita fue realizada solo por el ingeniero de proyectos de la empresa BASF, el día 06 de junio de 2012 para verificar ciertas dimensiones y espacios necesarios para la prueba.

La instalación del sistema APE en el pilote FF65 del caballete de la pasarela 1 en el andén norte, se realizó del 14 al 16 de junio.

14 de junio del 2012

- Se procedió al ingreso del personal encargado de la aplicación al estacionamiento en el muelle muerto del Terminal Bayóvar, para descargar el equipo APE, insumos para la prueba, herramientas manuales, equipos de buceo y balsa de respaldo para buzos. Con una grúa se embarca también en el remolcador Oro Negro el equipo de bombeo APE.



Figuras 3.49 y 3.50: Desmontaje y embarque de equipos e insumos.
Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figuras 3.51 y 3.52: Maniobras para embarque de Equipo APE.
Fuente: Moscol Tania, 2012.

- En el remolcador Oro Negro, se procedió al ensamblaje, disposición y ordenamiento de las herramientas y equipos neumáticos e hidráulicos del equipo de bombeo APE.



Figura 3.53: Acciones de ajuste y pruebas del Equipo APE.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- En la cubierta del remolcador se procede a la preparación y lijado de la superficie de las chaquetas de fibra de vidrio. Toda la superficie interna de la camisa debió ser ligeramente desbastada para retirar cualquier residuo roto o adherente que pueda estar presente.



Figuras 3.54 y 3.55: Preparación de camisas translúcidas.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

15 de junio del 2012

- Se colocaron los topes y niveles. Además se prepararon los puertos de inyección. Todos los separadores poliméricos, pre moldeados fijos o ajustables se adhieren a la camisa, así como los *niples* hembra roscados. El máximo espaciamiento entre los separadores fijos debe ser de 45.7 cm. en dirección longitudinal y 30.5 cm. en dirección transversal. Luego se procedió al remache por un lado para unir ambas chaquetas.



Figura 3.56: Disposición de topes.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Antes de proceder con el proceso de encapsulación, la superficie del pilote se limpió, retirándosele el crecimiento marino, grasa, aceite, óxidos, microorganismos y cualquier otro material dañino, que pueda evitar la adecuada adherencia entre el “*grout*” epóxico y el pilote.

El pilote se limpió mediante *sandblasting*, los buzos pueden también utilizar equipo abrasivo rotativo potente, o puede considerarse cualquier otro método que produzca la limpieza necesaria para cumplir con los requerimientos de adherencia de las especificaciones.



Figuras 3.57 y 3.58: Arenado de la superficie de pilote.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se ancló y fijó el remolcador apuntando la popa en dirección al pilote, se colocaron las retenidas para el montaje de las chaquetas en la estructura, mediante operación manual de los buzos, ayudados de la chalana usada como transporte.



Figuras 3.59 y 3.60: Maniobras para amarre del remolcador.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se colocó un empaque que evite la salida del “*grout*” epóxico por el fondo de la camisa durante el proceso de inyección. Este empaque se aplicó dentro de la cavidad moldeada en el extremo inferior de la camisa adherido con pasta epóxica marina. Cualquier material para sellar que se use como sello inferior, deberá estar dentro del espacio moldeado sin extenderse arriba de la cavidad hacia la camisa.



Figura 3.61: Colocación del sello inferior.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Culminado el proceso de limpieza superficial del pilote, se lanzaron las chaquetas al agua guiadas por 2 buzos y tiradas en su otro extremo por otros 2 buzos que se han ubicado en el pilote; así se instaló la chaqueta sobre la estructura para después ser fijada por correas.



Figuras 3.62 y 3.63: Colocación de chaquetas en el pilote.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se usaron sólo camisas con puertos de inyección previamente instalados. Se debe realizar el ensamble de la camisa y su colocación alrededor del pilote evitando dañar los separadores y/o tornillos de ajuste. También deben evitarse los movimientos perjudiciales en las juntas mientras cura el adhesivo de la junta.



Figuras 3.64 y 3.65: Ajuste de la chaqueta con remachador neumático.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tanto las uniones longitudinales como transversales, en su caso existan, deben ser selladas usando pasta epóxica marina y además sujetarlas con remaches de acero inoxidable de diámetro 4 mm. El espaciamiento entre los sujetadores individuales no

debe exceder de 13 mm La camisa deberá estar soportada por un refuerzo temporal u otros medios para asegurar que no se mueva o distorsione durante la colocación del “grout” epóxico, y en el período de curado. Además, el espacio mínimo anular de 8 mm entre el pilote y la camisa se debe mantener a través de todo el proceso de encapsulación.

- Antes de comenzar el proceso de inyección del “grout” epóxico, se colocaron 2 galones de un lubricante para manguera de “grout”, probado en cada tolva. Este lubricante fue bombeado a través de todo el equipo APE, para que cubra todas las superficies humedecidas de la tolva, bomba y mangueras. Cuando el nivel del lubricante alcanzó el fondo de la tolva, se continuó inmediatamente con el “grout” epóxico. Todo el lubricante que no fue mezclado con el “grout” epóxico, se recolectó al final del flujo de las mangueras para reusarse al terminar la aplicación en el momento de la limpieza del equipo.



Figura 3.66: Lubricación de equipo APE.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- La dosificación y mezclado del “grout” epóxico se realizó con un equipo expresamente diseñado para tal fin, llevándose a cabo en un área adecuada de trabajo dentro de la distancia de la manguera y pilotes que se van a encapsular. La proporción del agregado de dióxido de silicio y de los componentes epóxicos líquidos, se realizó estrictamente con conformidad a las recomendaciones del fabricante, especialmente en relación al control de temperatura.



Figuras 3.67, 3.68 y 3.69: Agregado de los componentes A, B y C en la elaboración del “grout”.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Una vez colocadas y aseguradas las chaquetas se procede a lanzar las mangueras de bombeo apoyándolas en flotadores, y con ayuda de los buzos se coloca la boquilla en el puerto de inyección a la espera del bombeo del “grout”.



Figuras 3.70 y 3.71: Maniobras para el ajuste de la manguera en el puerto inferior.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- El “grout” epóxico de relleno con agregado premezclado, fue bombeado a través de las mangueras a los puertos de inyección de la camisa, utilizando el método de pluricomponentes en el manejo del “grout”; que consiste en que los componentes de relleno con agregados, deben bombearse a través de mangueras separadas al equipo de mezclado, donde los componentes son combinados perfectamente y catalizados justo antes de entrar a la camisa del pilote.

La inyección se inició en el puerto de inyección inferior. Conforme la mezcla aparece en el siguiente puerto de inyección superior, el puerto inferior se tapa y se inicia la inyección en el siguiente más arriba donde aparezca el “grout”. Este proceso se repitió de puerto a puerto hasta que se alcanzó la parte superior de la camisa.

NOTA: La experiencia del proyecto indica si es posible que el “grout” pueda inyectarse desde un puerto inferior; de ser este el caso, se salta el siguiente puerto o puertos superiores sin dificultad, o se elimina esfuerzo en la camisa, el puerto o puertos superiores pueden taparse y saltarse. Los tapones deben ser de 1” NPT (*National Pipe Thread*), Programa 40, PVC, CPVC o Polipropileno.

Puede inyectarse una descarga corta de “grout” (6 pulgadas a 1 pie de altura) en el puerto localizado más inferior y dejar que cure lo suficiente. Para esta prueba se inyectó una descarga de 40 cm. en el segundo día de prueba, y se completó la altura total al tercer día.

16 de junio del 2012

- Se repiten todas las maniobras necesarias previas a la inyección del “grout” en el resto de la chaqueta; tales como el amarre del remolcador, el mezclado del “grout” APE en la cubierta del remolcador, la lubricación del Sistema APE, la preparación de los equipos de buceo, el aseguramiento de las mangueras de inyección, etc.



Figuras 3.72, 3.73 y 3.74: Avance del “grout” en la chaqueta translúcida y colocación del tapón en el puerto de inyección.

Fuente: Moscol Tania, 2012.10

El proceso de inyección en el resto de la camisa translúcida fue continuo, excepto por breves interrupciones al mover el inyector de puerto en puerto, la velocidad del proceso de inyección fue controlada para evitar atrapar agua o aire en la cavidad que se estaba llenando con el “grout”. Se empezó el llenado hasta alcanzar los niveles requeridos; la chaqueta translúcida facilitaba la inspección del correcto vaciado. Posteriormente se retira el inyector e instalan los tapones.

El número máximo permisible de vacíos en el “grout” epóxico dentro de las camisas no debe exceder de 0.01 ft² por 1 ft² de área de encapsulación. Cualquier vacío o hueco mayor a dos (2) pulgadas de diámetro debe ser reparado.

- Se dejó 5cm. de la chaqueta libre de “grout”, para ser llenados de forma manual y evitar derramar material. Luego de completar el nivel requerido de “grout”, se colocó un sello provisional de espuma y se dejó curar por 6 horas. Pasada la cura inicial se procedió a retirar el sello de espuma y se colocó el sello de Hydrocote que será el definitivo, al cual se le otorga un acabado triangular.



Figura 3.75, 3.76 y 3.77: Llenado manual, sellado superior temporal y sellado final.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se retiraron los elementos auxiliares de anclaje y luego de las 24h, se quitaron los elementos de fijación (zunchos azules).



Figura 3.78: Pilote FF65 con el sistema APE aplicado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.6 Sistema Stopaq

El 24 de mayo de 2012 el gerente de Maincco S.A. junto con el buzo supervisor designado por Stopaq *Europe* para esta prueba y dos personas de su equipo técnico, realizaron una visita a las instalaciones del Terminal Bayóvar para reconocimiento del área de trabajo y

hacer una exposición del sistema que proponen para proteger de la corrosión los pilotes del muelle.

La instalación del sistema en el pilote DD63 del *dolphin* de amarre N°8 en el andén norte, se llevó a cabo el 06 de julio del 2012. Los trabajos fueron supervisados por el gerente de Maincco S.A. y el especialista designado por Stopaq *Europe*. Realizando el siguiente procedimiento:

- Para facilitar las maniobras de instalación, sobre el nivel del mar, se colocó un balsa en media luna, el cual se sujetaba de unas sogas amarradas y ajustadas en las barandas del *dolphin* N°8.



Figura 3.79: Colocación de facilidades.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.80: Preparación superficial sobre nivel del mar.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- En la preparación superficial, bastó retirar el óxido suelto, cualquier crecimiento de vida marina, grasa, aceite y los residuos de algún recubrimiento previo. Sobre la línea de marea alta se requiere que la superficie se encuentre seca para lo cual se empleó isopropanol para eliminar la humedad.

- Previo a la aplicación, sobre la línea de agua se verificó el nivel de limpieza superficial. Para ello se utilizó una cinta Stopaq, que se adhiere sobre el área a proteger y luego se retira, la fuerza que requiera para desprenderse será el indicador. Si se desprende fácilmente, aún hay que retirar el óxido existente y si la adherencia es buena se puede dar inicio a cubrir la zona asignada.



Figura 3.81: Verificación de limpieza superficial.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- La aplicación de la cinta envolvente submarina (*Subsea Wrappingband*) bajo la línea de agua, se inició desde el nivel inferior que se desea proteger, en dirección circunferencial sólo en una vuelta y luego en dirección helicoidal, aplicando la cinta sin tensión y con

un traslape del 50%, presionando suavemente contra la superficie para eliminar el aire y agua encapsulados. Se continuó la aplicación incluso sobre la cinta envolvente atmosférica (*Stopaq Wrappingband CZ(H)*) por lo menos 20 cm. Al finalizar se colocó una vuelta de la cinta en dirección circunferencial.

La temperatura del agua durante la aplicación debe ser mayor a 10°C y la temperatura del ambiente debe estar entre 10°C y 45°C, la superficie de aplicación debe estar libre de vida marina, óxido suelto, pedazos de recubrimiento anterior, aceites o grasas, todo debe ser removido previamente con chorro de agua, lijas o cepillos de cerdas metálicas.



Figura 3.82: Aplicación de la cinta envolvente submarina (*Subsea Wrappingband*).

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- La aplicación de la cinta envolvente atmosférica (*Stopaq Wrappingband CZ(H)*), se inició en dirección circunferencial sólo en la primera vuelta y luego en dirección helicoidal a lo largo de la distancia a proteger. Se requiere que la superficie esté completamente seca, se aplica sin tensión y con un traslape del 50%, presionando la cinta suavemente contra la superficie para eliminar el aire encapsulado, al finalizar se coloca una vuelta en dirección circunferencial.



Figura 3.83: Aplicación de la cinta envolvente atmosférica (*Stopaq Wrappingband CZ(H)*).

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Sobre las cintas envolvente submarina y atmosférica (*Subsea Wrappingband* y *Wrappingband CZ(H)*) aplicadas como capas primarias se colocó la cinta envolvente exterior amarilla de PVC (*Yellow Outerwrap PVC*), en dirección circunferencial sólo en la vuelta inicial y luego en dirección helicoidal. Ejerciendo tensión, evitando encapsular aire y con un traslape mínimo de 50%, al finalizar la aplicación de la cinta se colocó una vuelta en dirección circunferencial.



Figura 3.84: Aplicación de cinta envolvente exterior amarilla de PVC (*Yellow Outerwrap* PVC).

Fuente: Moscol Tania, 2012.

La aplicación de la cinta envolvente de fibra de vidrio (*Outerglass Shield* XT24) se inició en dirección circunferencial en dos vueltas y luego en dirección helicoidal desde el límite inferior a proteger hasta el límite superior, aplicándola con tensión y con un traslape del 70%, presionando la cinta suavemente contra la superficie para eliminar el aire y agua encapsulados, al finalizar se colocaron dos vueltas en dirección circunferencial. Durante la aplicación se debe asegurar que la cinta sobre el nivel del mar no se encuentre seca. El empaque debe ser abierto justo en el momento de aplicación.



Figura 3.85: Aplicación de cinta envolvente de fibra de vidrio (*Outerglass Shield* XT24) sobre el nivel del mar.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se aplicó la filmina de compresión en toda el área de trabajo, con dirección similar a las anteriores cintas, procurando moderada tensión. Se colocó inmediatamente después de finalizada la aplicación de la cinta envolvente de fibra de vidrio (*Outerglass Shield* XT24) y antes de iniciado el proceso de curado. Luego se perforó la filmina de compresión empleando un rodillo. Tras 24 horas fue retirada la filmina de compresión del pilote protegido.



Figuras 3.86 y 3.87: Aplicación y retiro de la filmina de compresión.
Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 3.88: Pilote DD63 con el sistema Stopaq aplicado.
Fuente: Moscol Tania, 2012.

3.2.7 RiserClad.

El 04 de julio de 2012, los gerentes comercial y de ventas de Inblasa y el representante de TopCor, realizaron una exposición de su propuesta para la protección contra la corrosión en los pilotes del Terminal Bayóvar.

En el auditorio de la zona industrial de Bayóvar, se impartió una charla de inducción al personal de buceo encargado de realizar la instalación del sistema. En la charla que duró tres horas, se les explicó en que consiste el sistema y cuál sería el procedimiento a seguir el día de aplicación.

El 05 de julio del 2012 se instaló el sistema en el pilote EE62 del *dolphin* de amarre N°8 en el andén norte. Los trabajos estuvieron a cargo del personal de Inblasa. Realizando el siguiente procedimiento:

- El personal de buceo, con rasquetas, malla y cepillos de cerdas metálicas, limpió y retiró el picacho y óxido suelto, que pueda haberse formado por el paso de los días desde que se realizó el arenado del pilote.

Paralelamente, se procedió al arenado de la chaqueta de fibra de vidrio, para retirar cualquier imperfección propia de la fabricación y obtener una superficie totalmente lisa, en la cual el pegamento pueda adherirse perfectamente.



Figura 3.89: Arenado del Riserbond.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Con ayuda de una grúa, se montó el compresor en una lancha, necesario para utilizar las pistolas neumáticas en el ajuste de los tornillos de las abrazaderas de compresión.



Figura 3.90: Maniobra para colocar el compresor en la lancha.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Con ayuda del taladro se realizó tres agujeros en la chaqueta, uno en cada esquina inferior y otro en la parte central superior; para poder realizar las maniobras de posicionamiento al momento de la colocación de la chaqueta, desde la parte superior del *dolphin* N°8.

También se marcó en el exterior de las cuatro mitades del Riserclad, la ubicación de las pinzas de compresión. Las marcas se colocaron a 2 pulgadas de la parte inferior y del extremo superior, en intervalos de aproximadamente 1 pie.

Se limpió cuidadosamente con acetona la chaqueta por el lado interior, para eliminar cualquier suciedad o arena. Los centralizadores se unieron a la camisa de fibra de vidrio con un pegamento líquido del tipo "*Super Glue*" y por 10 minutos se deja secar.

- Los separadores de neopreno se cortaron en cuadrados y se ubicaron en el interior del Riserclad, colocándolos simétricamente, para establecer el espesor necesario de pegamento que debe quedar entre la chaqueta y el pilote; lo cual se puede apreciar en la Figura 3.91.
- Se hizo una prueba de posicionamiento de las chaquetas, tal como se muestra en la Figura 3.92 para que el personal de buceo verificara el peso de las chaquetas y vea la forma más apropiada de colocarlas alrededor del pilote con la maniobra más eficiente, pues el limitante es el tiempo de curado de "Riserbond".



Figuras 3.91 y 3.92: Disposición de los separadores y maniobras para posicionamiento de chaqueta.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Se colocó una de las pinzas de compresión como retenedor, esta abrazadera se situó en el límite inferior de la distancia a proteger, evitando que por el peso del “Riserclad” y el adhesivo “Riserbond”, puedan deslizarse antes que la polimerización del adhesivo se complete.
- Se calculó la cantidad de “Riserbond” necesarios para cada sección de “Riserclad” que serían instaladas, de acuerdo con la siguiente fórmula: Multiplicar el diámetro exterior (en pulgadas) de la superficie de acero por 3.14 y dividir por 12 para obtener los metros cuadrados por cada metro lineal. Luego, multiplicar los metros cuadrados por los pies lineales de la sección “Riserclad” que se instalen, y se divide por 8 para obtener el número de galones y kits de “Riserbond” necesarios para dicha sección.

“Riserbond” es un producto de múltiples componentes y las instrucciones que acompañan a la mezcla deben seguirse cuidadosamente. No mezclar más “Riserbond” de lo que es necesario dentro de un período de 45 minutos. En términos generales, esto limitaría la cantidad a no más de 4 galones. Si la temperatura ambiente es superior 25°C (77°F) o si la humedad relativa es superior al 50%, se recomienda que una pequeña muestra de “Riserbond” se mezcle siguiendo las instrucciones de los contenedores. El contenido de cada contenedor de componentes debe ser vaciado lo más completamente posible, en un contenedor de 5 ó 10 galones. Mezclar a una velocidad lenta, con el fin de no introducir burbujas de aire excesivas en la matriz, hasta que el contenido llegue a un color uniforme.



Figura 3.93: “Riserclad” cubierto con “Riserbond” listo para la aplicación.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Una vez que el “Riserbond” se mezcló correctamente, se aplica a la superficie interior del “Riserclad” a un espesor húmedo de aproximadamente 40% mayor que la de los centralizadores, o aproximadamente 175 milésimas de pulgada con el neopreno. El adhesivo se aplica con una espátula de manera uniforme.

- La encapsulación se comenzó por la elevación más baja, descendiendo una a una las chaquetas que serían colocadas alrededor del pilote para que la superficie sea encerrada efectivamente. Cuidando que todas las mitades de la chaqueta se emparejen. Cada sección se sujetó apropiadamente con las abrazaderas de compresión.

Las secciones fueron instaladas en una elevación inmediatamente encima de la sección anterior, hasta que el área a proteger fue cubierta totalmente. El exceso de “Riserbond” se quitó de la cima de la sección de la chaqueta, antes que polimerice.



Figura 3.94: Buzo en la recepción de la primera chaqueta a colocar.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Las pinzas de compresión, de diseño especial de acero, se colocaron alrededor de las dos mitades, correspondientes a intervalos de un pie a partir de la elevación más baja, dejando 2 pulgadas desde el extremo inferior y el extremo más alto de la chaqueta.

Las pinzas de compresión se ajustaron en la secuencia de abajo hacia arriba. El agua, el aire y el exceso de adhesivo del espacio anular entre la superficie de acero y el “Riserclad”, fue eliminado a medida que se ajustaban las pinzas, dejando una capa uniforme de adhesivo en el espacio de anular.

El exceso de “Riserbond” se quitó con una espátula para masilla y se utilizó en las costuras para formar un acabado fino por encima y el inferior de la chaqueta. El exceso también se utilizó para llenar las costuras entre secciones.

Capítulo 4

Evaluación técnico económica

Como criterios para la evaluación se tienen en cuenta los resultados técnicos y económicos de los productos aplicados en los pilotes, los cuales serán analizados y comparados, para llegar a la conclusión del sistema de protección más adecuado, que será propuesto como solución para la protección de la zona de salpicadura de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar.

Una vez realizada la instalación de los sistemas de protección, se obtuvo una propuesta económica referencial de los costos que implica cada instalación, además se solicitó probetas con el revestimiento aplicado para realizar las pruebas en laboratorio. Procediéndose a evaluar técnica y económicamente los sistemas. Cabe indicar que la evaluación completa no pudo ser realizada a todos los sistemas, es por ello que, en algunos casos, se presentarán resultados parciales.

Para un práctico desarrollo y manejo de la evaluación técnico económica, se asignó una letra a cada uno de los sistemas a calificar. Dicha denominación se empleará en todo el presente capítulo y se muestra en la Tabla 4.1 junto con otras características importantes de los sistemas.

Tabla 4.1: Resumen de sistemas a evaluar.

ASIGNACIÓN	SISTEMA	COMPOSICIÓN		
		Capa superficial	Capa barrera anticorrosiva	Protección mecánica
A	Sistema de enchaquetado de pilotes (<i>Pile shield system</i>)	Cera de petrolato	Cinta de cera microcristalina	Cubierta HDP
B	Sistema SYNTHO SHIELD	Imprimante	Cinta de petrolato	Cinta de fibra de vidrio
C	Sistema FX-70	-	Resina epóxica FX	Chaqueta de fibra de vidrio
D	Sistema SHAIK & STOPAQ	Imprimante	Cinta marina de petrolato	Cinta de PVC y cinta Stopaq
F	Sistema STOPAQ	-	Cinta visco-elástica submarina y atmosférica	Cinta de PVC y cinta de fibra de vidrio XT24
E	Sistema avanzado de encapsulamiento de pilotes (<i>Advanced pile encapsulation</i>)	-	<i>Grout APE</i>	Camisa traslúcida de fibra de vidrio (FRP)
G	Sistema RISERCLAD	-	Adhesivo epóxico	Camisa de fibra de vidrio

Fuente: Moscol Tania, 2012.

La evaluación técnica que comprende la aplicación del sistema, se ha realizado para cada uno de los siete sistemas propuestos. La calificación de los ensayos en laboratorio no ha podido llevarse a cabo en todos los sistemas, debido a que en algunos casos, el proveedor no entregó las probetas y en otros, las muestras no cumplieron los requerimientos mínimos necesarios para ser evaluadas en los diferentes ensayos realizados en el laboratorio. En algunas probetas se realizó el ensayo de laboratorio a la capa primaria del sistema completo sólo, con la finalidad de obtener valores referenciales que pudieran compararse con los datos de las hojas técnicas. Además aquellas muestras que no cumplieron con los requisitos mínimos para ser evaluadas en el laboratorio, no se les ha asignado puntaje en la calificación final.

La calificación económica se hizo para los cinco sistemas en los cuales se alcanzó un presupuesto referencial. Se muestran todos los resultados obtenidos en las calificaciones, incluyendo los valores parciales y los resultados obtenidos durante el proceso de evaluación, para plasmar la mejor decisión final.

4.1 Análisis y evaluación

4.1.1 Evaluación técnica

La evaluación, se realizó sobre los trabajos de aplicación del sistema a un pilote del Terminal y a las probetas entregadas para efectuar los ensayos en laboratorio.

En la instalación hecha en campo se evaluó la aplicabilidad del sistema; es decir, la factibilidad de ser colocado sin contratiempos, también se consideró los recursos utilizados, las facilidades, equipos y personal necesarios para la instalación, así como el desempeño posterior a la aplicación.

Adicionalmente, se llevó a cabo ensayos en laboratorio para poner a prueba las propiedades más saltantes de los sistemas, para una puesta en servicio en ambiente marino, tales como absorción de agua, resistencia al desprendimiento catódico, resistencia al intemperismo acelerado, resistencia al impacto, adherencia y resistencia a medios agresivos.

Los ensayos de laboratorio fueron realizados por la Tesista, de acuerdo a las normas NACE y ASTM, bajo la supervisión y asesoramiento permanente de los ingenieros del laboratorio de Metalotecnia de la Universidad de Piura y los asesores de tesis. Finalmente con los resultados obtenidos por la Tesista, los ingenieros del laboratorio de Metalotecnia emitieron un informe técnico acerca de los trabajos realizados.

4.1.1.1 Evaluación de la aplicabilidad del sistema

a) Instalación del sistema

En este apartado se hace referencia a la aplicabilidad de los sistemas en la zona de salpicadura de los pilotes, si el producto responde de manera adecuada en cuanto a la técnica de instalación bajo las condiciones reales de trabajo. Además se tienen en cuenta las facilidades utilizadas para llevar a cabo una óptima demostración aplicativa.

De los trabajos descritos en el apartado 3.2 (aplicación de sistemas de protección anticorrosiva) se han elaborado dos tablas para evaluar de manera puntual, la instalación del sistema en el pilote. En la Tabla 4.2 se resumen las observaciones más importantes respecto a la aplicabilidad de los sistemas instalados, donde se resaltan los puntos fuertes de cada una de las aplicaciones, así como las dificultades durante los trabajos llevados a

cabo y las recomendaciones necesarias para realizar una eficiente implementación del sistema.

Tabla 4.2: Resumen de aplicación de los sistemas instalados.

SISTEMA	COMENTARIOS
A	<ul style="list-style-type: none"> -No se requiere una superficie altamente preparada ni una geometría plenamente lisa o llana. Por otro lado la primera capa conformada por el imprimante presentó adecuada adherencia tanto en la zona atmosférica como en la sumergida. -La dificultad se presentó en la aplicación de la cinta microcristalina, pues el oleaje desprendía los traslapes y se debían allanar constantemente para evitar el desprendimiento total. -De la aplicación hecha, se recomienda hacer hincapié en la explicación de la colocación de las bandas metálicas con pruebas en superficies de similar geometría. Además para una correcta y eficiente instalación se requieren mínimo tres buzos y un tripulante.
B	<ul style="list-style-type: none"> -No se exige alta preparación superficial, ni una geometría plenamente lisa. Además las cintas de petrolato presentaron buena adherencia en ambas zonas de protección (sobre y bajo el nivel del mar). -Para lograr buena adherencia del imprimante en la superficie húmeda, se requirió aplicarlo con fuerza. -De la experiencia se advierte que para una correcta y eficiente instalación se necesitan mínimo tres buzos y un tripulante.
C	<ul style="list-style-type: none"> -La instalación del sistema requiere de una geometría llana libre de obstáculos, además de una buena preparación superficial que asegure la adherencia de la resina epóxica. -Esta aplicación no se completó debido a la falta de material para el “grout”, por ello se dejó 30 cm de la chaqueta sin rellenar. -De la instalación hecha se puede recomendar que para una correcta y eficiente aplicación se requieren además de personal técnico, mínimo cuatro buzos y dos tripulante. También es necesario el uso de herramientas neumáticas como pistolas remachadoras y taladro, para los trabajos bajo el agua. Así mismo la resina debe ser bombeado dentro de la chaqueta y monitorearse para verificar un llenado parejo y nivelado.
D	<ul style="list-style-type: none"> -Las cintas que conforman este sistema, brindan practicidad a la aplicación, por lo que no se exige una geometría llana; además todas las bandas presentaron buena adherencia en ambas zonas de trabajo y la limpieza superficial no requiere mayor esfuerzo, basta retirar el óxido suelto con herramientas manuales. -La aplicación del imprimante no presentó buena adherencia en la zona húmeda, por lo que se optó por aplicarlo sólo en la parte atmosférica. -De la experiencia se advierte que para una correcta y eficiente aplicación se requieren mínimo tres buzos y un tripulante.
E	<ul style="list-style-type: none"> -El equipo y proceso de bombeo empleado otorgó una formulación autonivelante de flujo alto, por lo que la aplicación hecha quedó compacta y libre de bolsas de aire. -La aplicación requiere una buena preparación superficial para la correcta adherencia del “grout”. -En la instalación es necesario personal calificado, mínimo cuatro buzos y dos tripulantes, además las chaquetas prefabricadas deben ser exactamente del mismo tamaño de la estructura a proteger pues las modificaciones durante la instalación son complicadas. En la preparación del “grout” epóxico deben usarse guantes, lentes de seguridad, ropa adecuada y crema protectora, evitando inhalar el polvo y el contacto prolongado o repetido con la piel.
F	<ul style="list-style-type: none"> -Las cintas que conforman este sistema permiten moldearse en cualquier superficie irregular, no son tóxicas y no irritan la piel del personal que realiza la aplicación. Las bandas visco-elásticas no curan, además presentan buena

adherencia. La aplicación del sistema no requiere mayor preparación superficial, basta retirar el óxido suelto con herramientas manuales.

-De la instalación hecha se advierte que para un correcto y eficiente trabajo se requieren mínimo tres buzos y un tripulante.

-La instalación requiere una buena preparación superficial y la geometría debe ser llana, libre de obstáculos. Además el personal encargado de la aplicación debe tener la experiencia y la habilidad suficiente para asegurar las pinzas de compresión y ajustar la chaqueta en 30 minutos (periodo de curado del adhesivo epóxico –“Riserbond”-) de lo contrario la instalación se dificulta.

G

-La aplicación no se realizó completamente, pues una de las chaquetas superiores se perdió al sumergirse, esto debido a que el personal encargado no era el suficiente y no contaba con la experiencia necesaria.

-Para una eficiente aplicación, se requiere además del personal técnico, una embarcación y un grupo de tres buzos y dos tripulantes con riguroso entrenamiento. Por otro las chaquetas prefabricadas deben ser exactamente del mismo tamaño de la estructura pues modificaciones posteriores son complicadas.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Resumiendo las facilidades empleadas durante los trabajos de instalación de los diferentes sistemas, se ha elaborado la Tabla 4.3, donde se hace referencia a las herramientas y equipos utilizados tales como embarcaciones, generadores, compresores, herramientas especiales, etc., también se detalla el personal (buzos, mecánicos, soldadores, técnicos, etc.), además se verificará el tipo de preparación superficial usado para la correcta instalación del sistema de protección, lo cual está relacionado con el tiempo, los materiales, facilidades y personal, dependiendo de los requerimientos.

b) Compatibilidad con el medio ambiente

Al ser el manejo ambiental una política de la empresa, todas las actividades operativas y proyectos se planifican y ejecutan considerando el principio preventivo y cuidado del medio ambiente, por tanto, los sistemas no deben representar riesgo de contaminación o toxicidad hacia el medio ambiente. Por ello se debe considerar si existe algún peligro frente a la contaminación del mar, que involucra la operación al utilizar el producto, ya sea en la etapa de instalación como en la de funcionamiento.

En la mayoría de los sistemas, dándole un correcto manejo a los componentes, no representan daños significativos para el medio ambiente, ni riesgos para la salud del personal a cargo de la aplicación.

En los sistemas A, B y D la barrera anticorrosiva (cintas y/o imprimantes) está compuesta por derivados del petróleo, pero además cuentan con una protección mecánica, con lo cual el recubrimiento en conjunto queda aislado e inerte al exponerse directamente al contacto con el mar.

En el caso de los sistemas C y E se debe tener especial cuidado al momento de llenar el espacio anular de las camisas con el compuesto epóxico, procurando controlar el material en exceso que se derrama en el lapso de tiempo mientras se llena la chaqueta y cura la porción de compuesto que va en contacto directo con el sello inferior.

Durante la aplicación del sistema G, se debe tener especial cuidado de no botar directamente al mar el rebabe del adhesivo epóxico que recubre el interior de las chaquetas.

En el sistema G cuyas chaquetas son recubiertas interiormente con un adhesivo epóxico que les permitirá fijarse a la estructura, durante la aplicación se debe tener especial cuidado de no botar el rebabe directamente al mar.

Por su parte los componentes del sistema F son bastante amigables con el medio ambiente, pues no representan mayor riesgo, las cintas visco-elásticas son inertes y las cintas de fibra de vidrio que otorgan la protección mecánica sólo reaccionan con el agua para incrementar su dureza.

*c) **Desempeño del sistema***

Se ha tomado en cuenta la evaluación del desempeño durante la instalación y tiempo de prueba, que tuvo cada sistema en el área designada a proteger. La descripción de las inspecciones se presenta en las Tablas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9.

Tal como se describe en la Tabla 4.2, el sistema G solamente se instaló en el área sumergida, es por ello que en las tablas de desempeño de los sistemas, no se describe ni se muestran imágenes de este recubrimiento, pues las inspecciones realizadas a la aplicación sólo permitían verificar que ambas chaquetas del sistema aún se hallaban adheridas a la parte sumergida de la estructura.

Tabla 4.3: Facilidades empleadas durante las aplicaciones.

ÍTEM		SISTEMAS DE PROTECCIÓN						
		A	B	C	D	E	F	G
MATERIALES		Cera de petrolato, cinta de cera microcristalina, capuchones de HDPE, zunchos y bandas metálicos.	Imprimante, cinta de petrolato y cinta de fibra de vidrio.	Chaqueta traslúcida, masilla y resina epóxicas y sello de espuma.	Pasta de petrolato, cinta de petrolato, cinta de PVC, cinta Stopaq y cintos plásticos.	Camisa FRP, <i>grout</i> epóxico APE y pasta epóxica marina.	Cinta visco-elástica atmosférica y marina, cinta de PVC, cinta de fibra de vidrio.	Adhesivo epóxico, camisa de fibra de vidrio, abrazaderas de compresión y espaciadores de neopreno.
PREPARACIÓN SUPERFICIAL		Limpieza manual y limpieza con chorro de agua.	Limpieza manual y limpieza con chorro de agua.	Limpieza manual.	Limpieza manual.	Limpieza manual y arenado.	Limpieza manual.	Limpieza manual.
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	Instalación	Máquina para ajuste y corte de bandas.	Rodillo perforador y cinta de compresión.	Correas, zunchos, base soporte, taladro, varilla mezcladora y guantes.	-	Correas, lubricante para manguera, Unidad de manejo del <i>grout</i> y equipos de protección personal.	Rodillo perforador, cinta de compresión, guantes y tijeras.	Compresor, pistolas de ajuste, espátulas, marcadores, pegamento, taladro, varilla mezcladora y guantes.
	Andamios	-	-	-	2 balsos en media luna.	-	1 balso en media luna.	-
	Otros	-	-	-	-	Grúa y tráiler carguero.	-	Grúa
EMBARCACIONES	Grandes	-	-	-	-	1 (remolcador)	-	-
	Pequeñas	2 (lancha y chalana)	2 (lancha y chalana)	2 (lancha y chalana)	2 (lancha y chalana)	3 (lancha, chalana y balso)	3 (lancha, chalana y balso)	2 (lancha y chalana)
PERSONAL	Buzos	1	1	3	2	4	3	2
	Tripulantes	2	2	2	2	7	2	2
	Técnicos	-	-	-	2	3	2	3
	Supervisores	2	1	3	1	2	1	1
TIEMPO EMPLEADO		5 horas	3 horas 40 minutos	12 horas	7 horas	14 horas	7 horas	9 horas

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.4: Desempeño del sistema A.

Instalación: 24.04.12	Primera inspección: 08.06.12	Segunda inspección: 17.07.12	COMENTARIOS
			<p>En ambas inspecciones, se apreció el estado en el que se encontraba la aplicación. La chaqueta HDPE sigue fija, no ha sufrido ninguna variación en su ubicación, tampoco presenta deterioro por efecto de los rayos ultravioletas. Las bandas metálicas mantienen sus características iniciales, no se han visto afectados por la corrosión, pero se avistan algas adheridas en aquellas bandas sumergidas. Tampoco se apreció crecimiento excesivo de vida marina. Se apreció un hundimiento en la chaqueta debido al impacto de alguna de las embarcaciones en el pilote.</p>

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.5: Desempeño del sistema B.

Instalación: 30.04.12	Primera inspección: 08.06.12	Segunda inspección: 17.07.12	COMENTARIOS
			<p>En las inspecciones, se observó la degradación, debido a los rayos UV, del color y la textura de las cintas externas que conforma este sistema. Además paulatinamente los organismos propios de la humedad (musgo, algas, etc.) se han incrementado tanto en la zona de salpicadura como en la zona totalmente sumergida.</p> <p>Por otro lado puede apreciarse que la aplicación no ha sido realizada correctamente, pues con marea baja se pudo notar un mal traslape en las cintas, lo cual deja la posibilidad de un encapsulamiento de agua bajo la cinta externa y la capa intermedia.</p>

Figura 4.5: Aplicación finalizada. Figura 4.6: Aplicación luego de 38 días. Figura 4.7: Aplicación luego de 77 días.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.6: Desempeño del sistema C.

Instalación: 10.05.12	Primera inspección: 10.06.12	Segunda inspección: 17.07.12	COMENTARIOS
 <p data-bbox="232 699 598 724">Figura 4.8: Aplicación finalizada.</p>	 <p data-bbox="658 683 1346 735">Figuras 4.9 y 4.10: Vista aérea y submarina de la aplicación a 31 días.</p>	 <p data-bbox="1384 683 1767 735">Figura 4.11: Aplicación luego de 67 días.</p>	<p data-bbox="1794 300 2051 667">En las inspecciones se apreció que la chaqueta no ha cambiado su color en la zona atmosférica, pero las algas y musgo ya han crecido en el área de las correas y de la unión entre chaquetas, donde se empleó trapo para evitar la salida del grout.</p>

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.7: Desempeño sistema D.

Instalación: 17.05.12	Inspección: 17.07.12	COMENTARIOS
 <p data-bbox="192 1283 566 1308">Figura 4.12: Aplicación finalizada.</p>	 <p data-bbox="607 1283 1417 1308">Figuras 4.13 y 4.14: Aplicación luego de 60 días, detalle de rotura de cintas.</p>	<p data-bbox="1451 970 2051 1177">La inspección visual del sistema instalado, permitió apreciar que la aplicación, había sufrido dos cortes, uno en el área atmosférica que deja descubierta la cinta de petrolato y otro en la zona sumergida que permita apreciar la cinta de PVC. Ambos cortes han sido hechos por alguna de las embarcaciones pequeñas que circulan por el área.</p>

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.8: Desempeño del sistema E.

Instalación: 16.06.12	Inspección: 17.07.12	COMENTARIOS
 <p data-bbox="293 730 669 754">Figura 4.15: Aplicación finalizada.</p>	 <p data-bbox="775 716 1592 772">Figuras 4.16 y 4.17: Aplicación luego de 31 días, vista de zona atmosférica y sumergida.</p>	<p data-bbox="1648 308 1984 735">En una inspección visual realizada al pilote de prueba, se evaluó el estado del sistema APE. Salvo el excremento de las aves, la chaqueta no presenta ningún otro material adherido además el color de la camisa se mantiene y el sello epóxico superior a adquirido mayor dureza. Se apreció la aparición de microorganismos marinos (musgo) que han empezado a adherirse en la superficie.</p>

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.9: Desempeño del sistema F.

Instalación: 06.07.12	Inspección: 17.07.12	COMENTARIOS
 <p data-bbox="185 1321 562 1345">Figura 4.18: Aplicación finalizada.</p>	 <p data-bbox="591 1321 1491 1345">Figuras 4.19 y 4.20: Aplicación luego de 11 días, vista de la zona aérea y sumergida.</p>	<p data-bbox="1518 975 2063 1246">En la inspección visual de la aplicación se apreció el cambio de color en la cinta de fibra de vidrio de blanco a amarillo, esto debido a los efectos de los rayos UV y por el excremento de las aves, propias de la zona. Además se verificó que la dureza ha incrementado. El crecimiento de la vida marina se había iniciado en la zona que se encuentra totalmente sumergida, luego de 11 días de realizada la aplicación.</p>

Fuente: Moscol Tania, 2012.

4.1.1.2 Evaluación en laboratorio

Se llevaron a cabo ensayos destructivos y no destructivos, para medir los indicadores importantes que permitirán identificar, cual es el sistema de protección contra la corrosión para estructuras marinas más apropiado y aplicable a la zona “*splash*” en los pilotes del Terminal Bayóvar.

A continuación en la Tabla 4.10, se presenta el listado de las probetas evaluadas en laboratorio, señalando la norma empleada en cada prueba, las dimensiones de las probetas, y la denominación de las muestras, la cual ha sido asignada teniendo en cuenta el código de la norma utilizada y la letra correspondiente al sistema a evaluar (en la Tabla 4.1 se menciona la denominación que se ha otorgado a cada sistema, para la evaluación).

Tabla 4.10: Listado de probetas empleadas en la evaluación de laboratorio.

NORMA	INFORMACIÓN DE PROBETAS		INFORMACIÓN DE PROVEEDOR Y CODIFICACIÓN	
	MEDIDAS [pulg.]	GEOMETRÍA	GRUPO ASIGNADO	CÓDIGO PROBETA
ASTM D570 "Standard Test Method for Water Absorption of plastics" (360hrs)	8x8Ø	Tubular	A	D570-A
	4x2Ø	Tubular	B	D570-B1 D570-B2 D570-B3
	4x2Ø	Tubular	D	D570-D1 D570-D2 D570-D3
	4x2	Rectangular	E	D570-E1 D570-E2 D570-E3
	4x2Ø	Tubular	F	D570-F1 D570-F2 D570-F3
	4x8Ø	Tubular	G	D570-G1**
ASTM B117 "Standard Test Method for Salt Spray (fog) Testing" (500hrs)	6x2Ø	Tubular	A	B117-A1* B117-A2*
	6x3Ø	Tubular	B	B117-B1 B117-B2
	6x3Ø	Tubular	D	B117-D1 B117-D2
	6x3	Rectangular	E	B117-E1 B117-E2
	6x3Ø	Tubular	F	B117-F1 B117-F2
ASTM G8 "Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings" (720hrs)	8x8Ø	Tubular	A	G8-A1
	8x4Ø	Tubular	B	G8-B1 G8-B2 G8-B3
	8x4Ø	Tubular	D	G8-D1 G8-D2 G8-D3
	8x4	Rectangular	E	G8-E1 G8-E2 G8-E3
	8x4Ø	Tubular	F	G8-F1 G8-F2 G8-F3

	8x8Ø	Tubular	G	G8-G1**
ASTM G53 “Standard Practice for Operating Light – and Water –Exposure” (Apparatus (Fluorescent UV- Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials” (720hrs)	6x3Ø	Tubular	A	G53-A1* G53-A2* G53-A3*
	6x3Ø	Tubular	B	G53-B1 G53-B2 G53-B3
	6x3Ø	Tubular	D	G53-D1 G53-D2 G53-D3
	6x3	Rectangular	E	G53-E1 G53-E2 G53-E3
	6x3Ø	Tubular	F	G53-F1 G53-F2 G53-F3
ASTM G14 “Standard Test Method for Impact Resistance of Pipeline Coatings (Falling Weight Test)”	8x4Ø	Tubular	B	G14-A1* G14-A2* G14-A3*
	8x4Ø	Tubular	B	G14-B1 G14-B2 G14-B3
	8x4Ø	Tubular	D	G14-D1 G14-D2 G14-D3
	16x4	Rectangular	E	G14-E1 G14-E2 G14-E3
	8x4Ø	Tubular	F	G14-F1 G14-F2 G14-F3
ASTM D4541 “Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers”	8x4Ø	Tubular	A	D4541-A1* D4541-A2*
	8x4Ø	Tubular	B	D4541-B1 D4541-B2
	8x4Ø	Tubular	D	D4541-D1 D4541-D2
	8x4	Rectangular	E	D4541-E1 D4541-E2
	8x4Ø	Tubular	F	D4541-F1 D4541-F2
	8x8Ø	Tubular	G	D4541-G1**
ASTM G62 “Standard Test Methods for Holiday Detection in Pipeline Coatings”	Todas las probetas fueron sometidas a estos ensayos.			
ASTM G12 “Standard Test Method for Nondestructive Measurement of Film Thickness of Pipeline Coatings on Steel”	Todas las probetas fueron sometidas a estos ensayos.			

*Probetas revestidas sólo con cera de petrolato y cinta de cera microcristalina.

**Probetas revestidas sólo con adhesivo epóxico (Riserbond).

Cada uno de los sistemas aplicados, han sido evaluados teniendo en cuenta su respuesta frente a las siguientes pruebas:

Prueba de medida de espesores

Debido a que los sistemas son de alto espesor, se realizaron las aproximaciones del caso con instrumentos de precisión como pie de rey y micrómetro.

Los valores de espesor medidos, se adjuntan dentro de cada una de las tablas de resultados de los ensayos realizados.

Prueba de detección de defectos

Se verificó según el ASTM G 62 – 85 “*Standard Test Methods for Holiday Detection in Pipeline Coatings*”.

Esta prueba corresponde al ensayo con el equipo “*Holiday Detector*”, marca Elcometer 266 DC, sonda de alcance máximo de 15KV, el cual utiliza un voltaje de barrido para la detección, que depende del espesor del revestimiento.

Como consecuencia de los valores elevados de espesor del recubrimiento de las probetas, para este ensayo se empleó el voltaje máximo de la sonda (15KV) en todos los sistemas. Utilizando como elemento de detección, el método de la esponja húmeda en lugar de la cerda metálica típica.



Figura 4.21 y 4.22: Equipo “*Holiday detector*” y arco formado al detectarse un defecto en el recubrimiento

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Prueba de adherencia

- *Descripción*

Para el desarrollo se siguió la norma ASTM D4541-09 “*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*”.

En esta prueba se verifica la adherencia de los sistemas propuestos. Determinando la fuerza necesaria para el desprendimiento del recubrimiento, midiendo la fuerza de adherencia entre la carga del accesorio y la superficie de la probeta

Se realiza, con un probador “*pull off*” Elcometer, modelo 106 (escala 4), que permite medir la fuerza de adherencia entre la carga del accesorio y la superficie de la probeta o la fuerza cohesiva del sustrato. Para lo cual, se emplea un accesorio denominado “*Dolly*” con un área de contacto con la muestra de 3.14cm^2 , que es adherido sobre la probeta, como se muestra en la Figura 4.23.

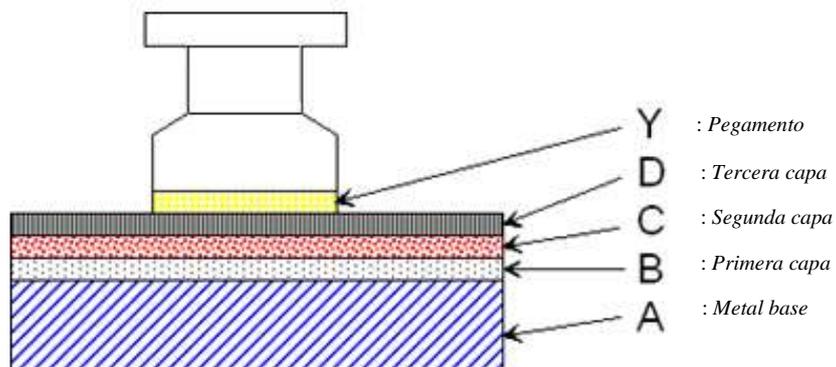


Figura 4.23: Esquema de ubicación del “Dolly” sobre probeta.

Fuente: Moscol Tania 2012.



Figura 4.24: Distribución de *dollyes* sobre probeta del sistema E.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Resultados

Tabla 4.11: Resultados de la prueba de adherencia.

EQUIPO	PROBADOR DE ADHERENCIA			TIEMPO DE PEGADO	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA					
	FABRICANTE	MODELO	AREA DOLLY (Z) cm ²		PEGAMENTO	SUSTRATO	PRIMERA CAPA	SEGUNDA CAPA	TERCERA CAPA	PEGAMENTO
ELCOMETER	106 ESCALA 4		3.14	EPÓXICO	24 horas	A	B	C	D	Y

CÓDIGO DE PROBETA	ESPESOR EN SECO (mm)			DETECCIÓN DE DEFECTOS		ASTM D4541-09e1 “Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.”														
				ASTM G 62		X (Kg/cm ²)	F (Kgf)	FALLA		ÁREA FALLADA (cm ²)										
	MÁX	MÍN	PROM	VOLTAJE (V)	FALLA			COHESIVO	ADHESIVO	aA	%A	aB	%B	aC	%C	aD	%D	aY	%Y	
D4541 A1*	5	3	4.00	15000	No	63.5	491.726	Y	A	0.341	10.85	0	0	0	0	0	0	0	0	
D4541 A2*	6	2	3.50	15000	Sí	68.75	532.380	Y	A	0.436	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0.157	5.01
D4541 B1	5.5	2.5	4.25	15000	Sí	15	116.156	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.046	33.30
D4541 B2	5	3	4.00	15000	Sí	14.75	114.220	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.359	11.43
D4541 C1	No presentó probetas																			
D4541 C2																				
D4541 D1	7	6	6.44	15000	No	21.75	168.426	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.805	25.64
D4541 D2	8	4	6.00	15000	No	20	154.874	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.930	29.62
D4541 E1	18	16	16.63	15000	No	37.5	290.389	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.107	98.96
D4541 E2	23	20	21.88	15000	No	42.5	329.108	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.052	97.20
D4541 F1	9	6	7.38	15000	No	18.75	145.195	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.458	14.60
D4541 F2	8	6	7.00	15000	No	19.375	150.034	Y	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.694	22.10
D4541 G1**	1.05	0.38	0.63	2600	Sí	60	464.623	Y	A	0.055	1.75	0	0	0	0	0	0	0	1.065	33.92
D4541 G2	No se evaluó probeta																			

*No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con la cera de petrolaro y cinta de cera microcristalina.

**No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con Adhesivo epóxico (RiserBond).

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- *Discusión de resultados*

De los registros hechos durante la realización del ensayo, mostrados en la Tabla 4.11, se han elaborado los gráficos de las Figuras 4.25 y 4.26. Los resultados de la Figura 4.25 nos muestran que el sistema que mejor respondió en el ensayo de adherencia fue el sistema E y el que menos fuerza requirió para desprender los “dollies” fue el B. Cabe señalar que los valores presentados por los sistemas A* y G** son mayores, pero en ellos sólo se realizó la prueba a la capa primaria del sistema completo, valores referenciales que podrán compararse con los datos de las hojas técnicas en caso se requiera.

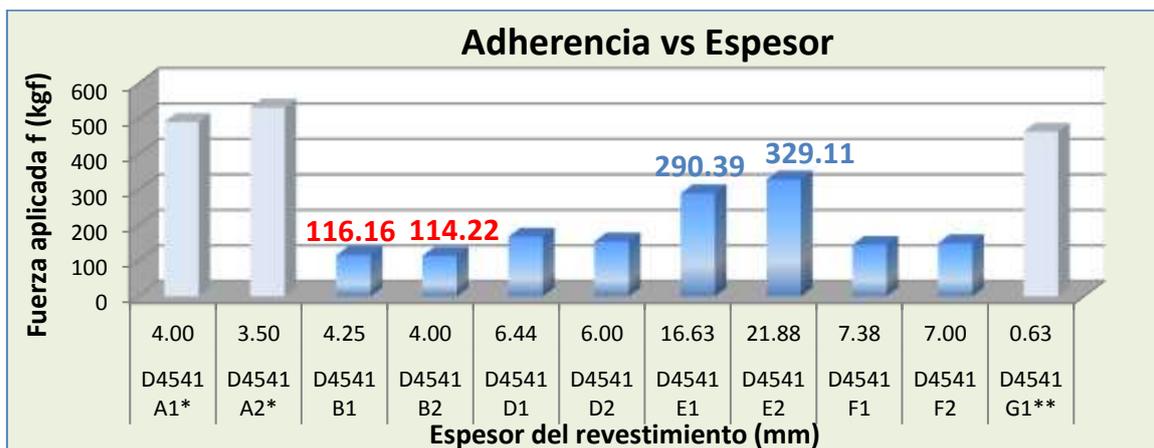


Figura 4.25: Fuerza aplicada en función del espesor de probeta.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Al analizar los resultados de la Fig. 4.26, se observa que ningún sistema completo evaluado (B, D, E y F) presenta desprendimiento de material, pero los sistemas A* y G** sí han mostrado desprendimiento de la capa inicial, se considerarán estos valores como referencia de la adherencia que presentan las capas primarias de los sistemas A y G.

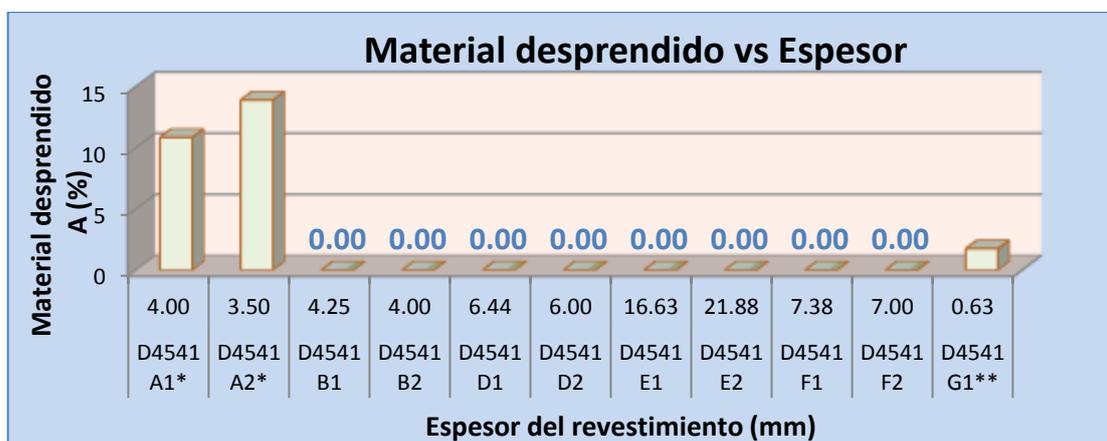


Figura 4.26: Material desprendido en función del espesor de probeta.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Prueba de resistencia al impacto

- *Descripción*

En la evaluación de la resistencia al impacto, se empleó principalmente el ASTM G14-04 (2010) “Standard Test Method for Impact resistance of pipeline coatings (falling weight test)”.

Este método de prueba cubre la determinación de la energía requerida para la ruptura de revestimientos aplicados en tuberías bajo condiciones específicas del impacto de un peso que cae verticalmente. La resistencia al impacto se define como la cantidad de energía requerida para causar penetración en la película del revestimiento.

El ensayo consiste en una prueba mecánica en la que una cabeza de impacto con un peso fijo; cae con alturas variables para producir un punto de impacto sobre la superficie de la probeta. Se utiliza una inspección eléctrica (prueba de detección de defectos ASTM G62), para detectar posibles roturas o fallas en los recubrimientos, inspección llevada a cabo inmediatamente después de realizado cada impacto individual.

- *Resultados*

Los resultados presentados en la Tabla 4.12 se obtuvieron empleando las siguientes fórmulas:

$$m = \left[h_0 + d \left(\frac{A}{N} \pm \frac{1}{2} \right) \right] \times W \quad \text{y} \quad S = \left[1.62d \left(\frac{NB - A^2}{N^2} \right) + C \right] \times W$$

Donde:

m = Valor de resistencia al impacto (gr-cm).

h_0 = Altura mínima hasta que el suceso ocurra con menor frecuencia (cm).

d = Incremento en altura de caída (cm).

A = Suma de la frecuencia de sucesos en los incrementos de cada altura sobre el valor de h_0 para cada observación en el total de N .

N = Número total de sucesos de frecuencia menor (falla y resistencia de revestimientos).

W = Peso del *tup* (gr).

S = Desviación estándar de la muestra (gr-cm).

$C = 0.737$ cuando d está en cm.

B = Suma de las frecuencias sucesivas por cada periodo de incremento de altura del cuadro del número de incrementos anteriores al valor de h_0 para cada observación en el total de N .

H = Altura máxima de caída del *tup*.



Figuras 4.27 y 4.28: Disposición de probetas en el ensayo de impacto.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.12: Resultados de la prueba de impacto.

CÓDIGO DE PROBETA	ESPESOR EN SECO (mm)			DETECCIÓN DE DEFECTOS		ASTM G14-04 (2010) "Standard Test Method for Impact resistance of pipeline coatings (falling weigh test)".												
				ASTM G 62		W PESO TUP (g)	T (°C)	H (cm)	h° (cm)	d (cm)	N	A	B	C	N° FALLAS	N° RESIST.	RESULTADOS (g - cm)	
	VOLTAJE (V)	FALLA	PROM. IMPACTO m	DESV. STAND. (s)														
G14 A2*	7	4.2	5.38	15000	Sí	1355.80	24	14	10	2	3	0	0	0.737	17	3	14.91	0.999
G14 A3*	9	4	5.75	15000	Sí	1355.80	24	12	10	2	1	0	0	0.737	19	1	14.91	0.999
G14 B1	5	3	4.38	15000	Sí	1355.80	24	40	20	2	6	18	74	0.737	14	6	36.61	15.642
G14 B2	5.85	3.3	4.71	15000	Sí	1355.80	24	44	34	2	8	15	41	0.737	12	8	52.54	8.069
G14 C1	No presentó probetas.																	
G14 C2																		
G14 D1	5.5	4	4.53	15000	No	1355.80	24	130	128	2	15	10	10	0.737	5	15	176.71	1.975
G14 D2	5.9	4	4.90	15000	No	1355.80	24	130	126	2	20	19	145	0.737	0	20	174.76	28.882
G14 E1**	15.5	16	15.50	15000	No	1355.80	24	130	130	2	20	0	0	0.737	0	20	177.61	0.999
G14 E2**	15	15	14.75	15000	No	1355.80	24	130	130	2	20	0	0	0.737	0	20	177.61	0.999
G14 F1	12	8	9.81	15000	No	1355.80	24	130	130	2	20	0	0	0.737	0	20	177.61	0.999
G14 F2	11	7	9.69	15000	No	1355.80	24	130	130	2	20	0	0	0.737	0	20	177.61	0.999
G14 G1	Las probetas presentadas no podían evaluarse.																	
G14 G2																		

*No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con cera de petrolato y cinta de cera microcristalina.

**Las probetas fueron planas.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- *Discusión de resultados*

De los resultados registrados en la Tabla 4.12 se han elaborado las gráficas de las Figuras 4.29 y 4.30. Como se puede apreciar en la Figura 4.29, los sistemas E y F son los de mayor resistencia al impacto, los cuales a pesar de que coinciden en valor promedio de impacto, son diferentes en cuanto al espesor promedio de revestimiento, las probetas planas empleadas en el sistema E tuvieron mayor espesor, mientras que el sistema F presenta menor espesor y las probetas evaluadas fueron tubulares. El sistema de menor resistencia ha sido el B. Debido a que se evaluó sólo la primera capa en el sistema A*, este no se considerará en la evaluación.

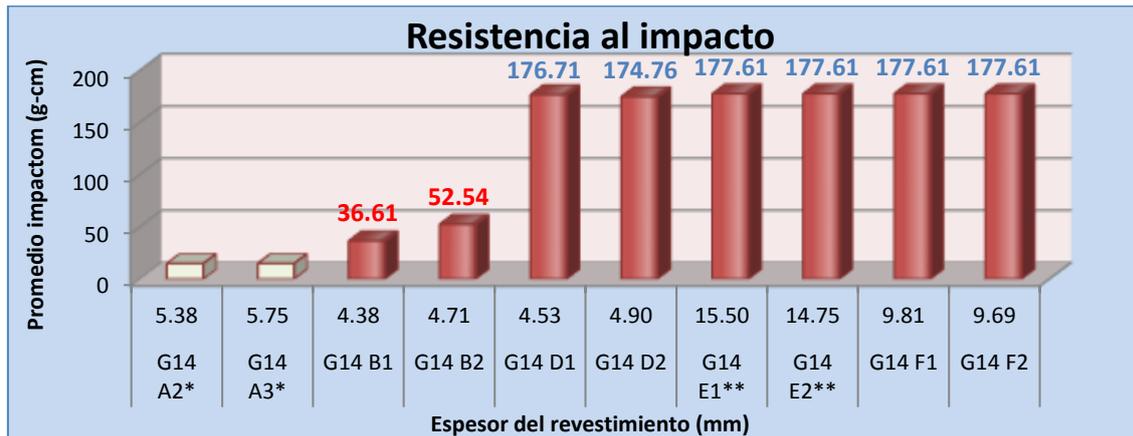


Figura 4.29: Resistencia al impacto según el espesor del revestimiento.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figura 4.30: Resistencia al impacto según el espesor uniforme.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Ante la falta de muestras con espesores próximos, la tendencia geométrica de aumento de resistencia, respecto al aumento de espesor de los sistemas, podría motivar a realizar una proyección probable de este comportamiento el cual se aprecia en la Figura 4.30, tomando como espesor base el del sistema E. De la gráfica obtenida, el sistema D presenta el primer lugar en valores de resistencia al impacto y el B sigue siendo el de menor rendimiento.

Los diversos componentes y proceso de aplicación de los revestimientos ensayados, han dado lugar a diferentes comportamientos. En algunos, como es el caso del sistema D, que está conformado por un imprimante derivado del petróleo, colocado sobre la estructura base y que luego se envuelve con una cinta de petrolato y materiales poliméricos, los puntos de falla se presentaron como rebotes de un fluido aceitoso. En contraste, otros como es el caso del sistema E, debería presentar falla de la manera convencional como agrietamientos, levantamientos, etc., pero esto no se ha observado.

Prueba de desprendimiento catódico

- *Descripción*

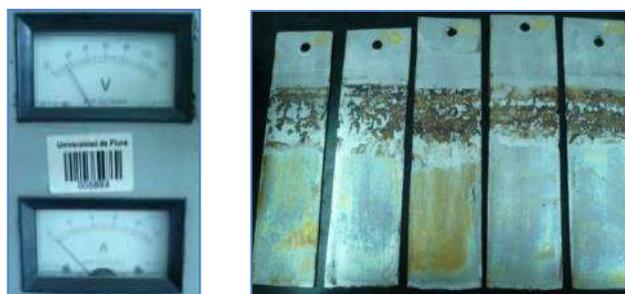
En la realización de esta prueba se siguieron los lineamientos del ASTM G8-96 (2010) “*Standard test methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings*”. Para un período de 720 horas.

El ensayo se desarrolló de la siguiente manera: se realizaron 3 defectos en el revestimiento de las probetas (que representan posibles fallas en los recubrimientos), luego las muestras se conectaron en paralelo al negativo de la fuente, mientras al terminal positivo se conectan en paralelo los ánodos dispersores de corriente (planchas de acero inoxidable). Tanto las probetas como los ánodos fueron sumergidos en el electrolito (solución salina). Revisadas las conexiones, se encendió el rectificador de voltaje, manteniendo el potencial de protección de las muestras entre -1.45 V y -1.5 V, con respecto al electrodo de referencia de $Cu/CuSO_4$. El potencial fue monitoreado durante todo el periodo de prueba (30 días).



Figura 4.31: Disposición de probetas y equipos durante el ensayo.

Fuente: Moscol Tania, 2012.



Figuras 4.32 y 4.33: Voltaje y corriente durante el desarrollo de la prueba y ánodos de dispersión al finalizar la prueba.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

La aplicación de este método determinó las características comparativas de los sistemas de revestimientos aisladores aplicados al exterior de las probetas, con el fin de prevenir o atenuar la corrosión que puede ocurrir en áreas donde la estructura está sumergida y además recibe protección catódica.

Las roturas o defectos en los recubrimientos pueden exponer a las estructuras a una posible corrosión, dado que el mar constituye un electrolito efectivo. Los potenciales normales del mar así como potenciales de protección catódica aplicados, pueden causar el aflojamiento de los bordes de los defectos del revestimiento, en algunos casos aumentan el tamaño ya evidente de las fallas. Los defectos del revestimiento pueden también ser causados por tales potenciales. Mientras que el revestimiento al parecer aflojado y los defectos catódicos pueden no dar lugar a la corrosión, el ensayo de desprendimiento catódico proporciona las

condiciones aceleradas para aflojarlas y por lo tanto dan una medida de resistencia del revestimiento a este tipo de acción.

- *Resultados*

Tabla 4.13: Resultados de la prueba de desprendimiento catódico.

FECHA DE INICIO	FECHA DE TÉRMINO	TIEMPO ENSAYO	DEFECTOS INTENSIONALES		SOLUCIÓN EMPLEADA		
			Ø (mm)	CANTIDAD	ph	Solvente	Sal utilizada al 1% (peso) NaCl (g/l)
05/10/2012	03/11/2012	30 DÍAS	6	3	6.75	Agua potable	35

CÓDIGO DE PROBETA	ESPESOR EN SECO (mm)			DETECCIÓN DE DEFECTOS		ASTM G8-96 (2010) "Standard test methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings".						
						ÁREA (mm ²)	PROMEDIO MONITOREO ELÉCTRICO				DESPRENDIMIENTO CATÓDICO	
	MAX	MIN	PROM	VOLTAJE (V)	FALLA		INTENSIDAD I (mA)	DIFERENCIA POTENCIAL E ₂ -E ₁ = ΔE (V)	POTENCIAL TOTAL Et (V)	DENSIDAD CORRIENTE INICIAL mA/mm ²	ÁREA (mm ²)	Ø (mm) *
G8 A1	11	6	8.13	15000	No	67921.24	140.3	0.42	-1.47	0.00207	0.000	0.00
G8 A2	La probeta presentada no fue necesaria evaluar											
G8 B1	7	4	5.63	15000	Sí	41469.03	170.5	0.3	-1.47	0.00411	0.000	0.00
G8 B2	6	4	5.25	15000	Sí	37322.12	102.25	0.34	-1.46	0.00274	0.000	0.00
G8 C1	No presentó probetas											
G8 C2	No presentó probetas											
G8 D1	8	5.5	6.69	15000	No	37699.12	1.75	0.395	-1.48	4.642E-05	0.000	0.00
G8 D2	8	6	7.38	15000	No	41469.03	11.35	0.345	-1.47	2.737E-04	0.000	0.00
G8 E1	16	14	15.13	15000	No	13000.00	206.35	0.4	-1.48	1.587E-02	0.000	0.00
G8 E2	17.8	17	17.18	15000	No	13000.00	58	0.15	-1.44	4.462E-03	0.000	0.00
G8 F1	10	7	9.00	15000	No	38798.67	92	0.375	-1.47	2.371E-03	0.000	0.00
G8 F2	7	4	5.50	15000	No	42411.51	50.8	0.39	-1.47	1.198E-03	0.000	0.00
G8 G1**	1.16	0.4	0.73	2800	Sí	65659.29	144.65	0.31	-1.44	2.203E-03	12.456	3.98
G8 G2	La probeta presentada no fue necesaria evaluar											

**No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con Adhesivo epóxico (RiserBond)

(-) Desprendimiento equivalente al diámetro de un círculo

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- *Discusión de resultados*

Los resultados de la Tabla 4.13 se grafican en las Figuras 4.34 y 4.35. En la primera gráfica se observa que casi todos los sistemas respondieron adecuadamente sin daños apreciables, a excepción del sistema G** (incompleto), el cual no se considera pues no está conformado en su presentación final de servicio.

En la Figura 4.35 se aprecia que la corriente necesaria para proteger las muestras (densidad de corriente); que en general son valores pequeños. Dentro de esta escala los sistemas que requirieron mayor corriente de protección fueron las muestras E, a diferencia del sistema D que presentó el menor valor de densidad de corriente.



Figura 4.34: Área desprendida según sistema evaluado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

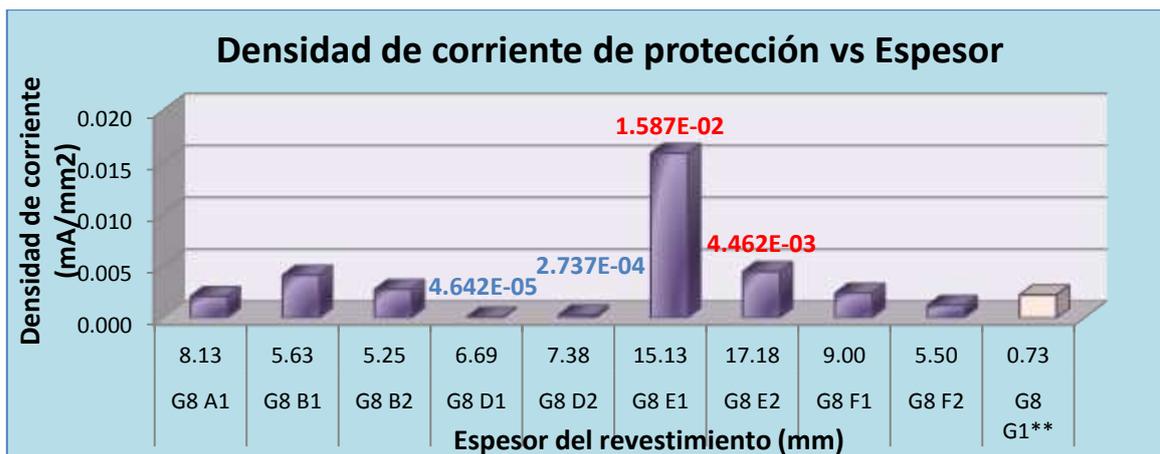


Figura 4.35: Densidad de corriente en función del espesor del sistema evaluado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Prueba de absorción de agua

- *Descripción*

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo a la norma ASTM D 570-98 (2010)^{e1} “*Stándar test method for water absorption of plastics*”. Para determinar el rango relativo de absorción de agua de los revestimientos al encontrarse sumergidos.

Todas las probetas fueron inmersas completamente en agua destilada, aplicando el ensayo a largo plazo durante 14 días. El peso a los 7 días de inmersión y al finalizar la prueba fue anotado para tener el registro del aumento progresivo del peso.



Figura 4.36: Disposición de probetas para la prueba de absorción de agua.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Resultados

Tabla 4.14: Resultados de la prueba de absorción de agua.

ACONDICIONAMIENTO			PROCEDIMIENTO DE INMERSIÓN	TIEMPO DE INMERSIÓN	T° DEL AGUA (°C)	FECHA	
TIEMPO SECADO (hrs.)	TEMP. SECADO (C°)	INICIO ENSAYO				FIN ENSAYO	
24	50		LARGO PLAZO	14 DÍAS	25	17/10/2012	31/10/2012

CÓDIGO DE PROBETA	ESPESOR EN SECO (mm)			DETECCIÓN DE DEFECTOS		ASTM D570 - 98 "Standar test method for Water Absorption of plastics"						
						PESO INICIAL (g)	INCREMENTO DE PESO DURANTE EL TIEMPO				DETECCIÓN DE DEFECTOS	
	ASTM G 62		7 DÍAS		14 DÍAS		ASTM G 62					
	VOLTAJE (V)	FALLA	PESO (g)	% INCREMEN.	PESO (g)		% INCREMEN.	VOLTAJE (V)	FALLA			
D570 A1	13	6	8.44	15000	No	9519	9593	0.777	9595	0.798	15000	No
D570 A2	La probeta presentada no fue necesaria evaluar											
D570 B1	7	5	5.88	15000	No	732.7	736.3	0.491	737	0.587	15000	Si
D570 B3	7	5	6.25	15000	No	717.8	722	0.585	723	0.724	15000	No
D570 C1	No presentó probetas											
D570 C2	No presentó probetas											
D570 D1	4	3	3.13	15000	No	725.9	725.9	0.000	726	0.014	15000	No
D570 D2	4	3	3.50	15000	No	747.5	747.5	0.000	747.5	0.000	15000	No
D570 E2	14	13	13.38	15000	No	149.25	149.6	0.235	150	0.503	15000	No
D570 E3	18.5	17.5	18.00	15000	No	190.18	190.6	0.221	191	0.431	15000	No
D570 F1	10	7	8.50	15000	No	654.2	658	0.581	658.6	0.673	15000	Si
D570 F3	9	7	7.75	15000	No	666.3	671	0.705	672.9	0.991	15000	Si
D570 G1**	0.934	0.291	0.56	2500	Si	4509	4510	0.022	4510	0.022	2500	Si
D570 G2	La probeta presentada no fue necesaria evaluar											

**No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con Adhesivo epóxico (RiserBond)

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Discusión de resultados

Los valores obtenidos en el ensayo de absorción de agua, registrados en la Tabla 4.14 se esquematizan en la Fig. 4.37, mostrando la relación entre el porcentaje de absorción por unidad de espesor, se aprecia que el sistema D presentó el mínimo valor de absorción, por otro lado el sistema B es el que presentó mayor porcentaje de absorción.



Figura 4.37: Porcentaje de agua absorbido según sistema evaluado.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Se debe señalar también que, después del procedimiento de secado (calentamiento a 50°C), previo al ensayo de las probetas, el sistema B, mostró signos de oscurecimiento exterior con leve brote de las capas interiores que recubrían la probeta. Dicho sistema está constituido por un imprimante, una cinta de petrolato y una cinta de fibra de vidrio, la misma que llega a tener apariencia porosa en algunas zonas; la porosidad de la última capa

en las probetas del sistema B pudo ser el motivo por el cual probablemente formó parte de los sistemas que más agua absorbió.

Prueba de intemperismo acelerado

- *Descripción*

Este ensayo se llevó a cabo bajo los lineamientos del Estándar ASTM G 53 “*Standard Practice for operating light - and water - exposure apparatus (fluorescent UV-condensation type) for exposure of nonmetallic materials*”.

La práctica cubrió los principios básicos y procedimientos para usar fluorescentes ultravioletas (UV) y el equipo de condensación para simular el deterioro causado por la luz del sol y agua, como la lluvia o el rocío. La fuente UV es una serie de lámparas fluorescentes, con la emisión de lámparas concentradas en el rango de UV.

Las probetas se exponen alternativamente sólo a la lámpara ultravioleta y a condensación en un ciclo repetido. La condensación es producida exponiendo la superficie de prueba a una mezcla con calefacción, aire saturado y vapor de agua, mientras el lado inverso de la probeta es expuesto al enfriamiento con aire del medio ambiente.

Las condiciones del ensayo se realizaron por un periodo de 720 horas en la cámara de intemperismo, con intervalos de condensación y exposición UV cada 4 horas. Se llevó a cabo un registro permanente de degradación usando tres réplicas de probetas, las cuales fueron retiradas secuencialmente, en intervalos iguales a un tercio de duración del ensayo, cada 10 días.



Figura 4.38: Disposición de probetas en la cámara de intemperismo.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- Resultados

Tabla 4.15.: Evolución de la prueba de intemperismo acelerado.

SISTEMA	A*	B	D	E	F
REVESTIMIENTO EXTERNO	Cinta de cera microcristalina	Cinta de fibra de vidrio (Syntho glass)	Cinta Stopaq PVC	Camisa traslúcida FRP	Cinta de fibra de vidrio (Outerglass Shield XT24)
Probeta sin ensayar					
240 horas					
480 horas					
720 horas					

Fuente: Moscol Tania, 2012

Tabla 4.16: Resultados de la prueba de intemperismo acelerado.

EQUIPO		LÁMPARAS				CICLO				FECHA	
TIPO	MODELO	FABRICACIÓN	TIPO	EMISIÓN PICO (nm)	EMISIÓN BAJA 1% (nm)	UV		CONDENSADO		INICIO ENSAYO	FIN ENSAYO
						t. (Hrs.)	T. (°C)	t. (Hrs.)	T. (°C)		
LMC	A-2006	Q - PANEL LABS PRODUCTS	QFS - 40	313	280	4	80	4	60	05/09/2012	05/10/2012

CÓDIGO DE PROBETA	ESPESOR EN SECO (mm)			DETECCIÓN DE DEFECTOS ASTM G 62		ASTM G53 "Standard Practice for operating light - and water - exposure apparatus (fluorescent UV-condensation type) for exposure of nonmetallic materials".						
						TIEMPO DE EXPOSICIÓN (hrs.)	INSPECCIÓN VISUAL				DETECCIÓN DE DEFECTOS ASTM G 62	
	MÁX	MÍN	PROM	VOLTAJE (V)	FALLA		Depósitos	Coloración	Envejecimiento	Brote de capa interna	VOLTAJE (V)	FALLA
G53 A1*	8	4.8	5.62	15000	Sí	480	No presenta	Decoloración	Sí presenta	No presenta	15000	Sí
G53 A2*	5.5	4	4.50	15000	No	240	No presenta	Decoloración	No presenta	No presenta	15000	Sí
G53 A3*	7	2	4.69	15000	No	720	No presenta	Decoloración	Sí presenta	No presenta	15000	Sí
G53 B1	5.5	3	4.19	15000	Sí	720	No presenta	Oscurecimiento	Sí presenta	Sí presenta	15000	Sí
G53 B2	8	6	7.00	15000	Sí	480	No presenta	Oscurecimiento	Sí presenta	Sí presenta	15000	Sí
G53 B3	8	4	5.56	15000	Sí	240	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	Sí
G53 C1	No presentó probetas											
G53 C2												
G53 C3												
G53 D1	5	4	4.25	15000	No	480	Sí presenta	No cambió	No presenta	No presenta	15000	No
G53 D2	5	4	4.31	15000	No	240	Sí presenta	No cambió	No presenta	No presenta	15000	No
G53 D3	5	4	4.25	15000	No	720	Sí presenta	No cambió	No presenta	No presenta	15000	No
G53 E1	15	15	15.00	15000	Sí	480	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	No
G53 E2	15	15	15.00	15000	Sí	720	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	No
G53 E3	15	15	15.00	15000	Sí	240	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	No
G53 F1	16	7	12.19	15000	No	480	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	Sí
G53 F2	12	9	10.56	15000	No	720	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	Sí
G53 F3	13	9	11.13	15000	No	240	No presenta	Oscurecimiento	No presenta	No presenta	15000	No
G53 G1	Las probetas presentadas no podían evaluarse											
G53 G2												
G53 G3												

*No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con la cera de petrolato y cinta de cera microcristalina.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- *Discusión de resultados*

En el ensayo de intemperismo acelerado se analizaron 3 probetas por cada sistema evaluando por períodos de degradación de 240, 480 y 720 horas, para posteriormente realizar la prueba de detección de defectos.

A excepción del sistema D, que presentó depósitos fácilmente removibles, los demás revestimientos sufrieron deterioro en mayor o menor grado. Según los resultados de la Tablas 4.15 y 4.16, las muestras que han sufrido daño en mayor grado fue el sistema B.

Aunque las probetas A* (sin protección mecánica) han sufrido mayor daño, está claro que ello ocurre por la falta de la protección que ofrece el recubrimiento exterior, ya que la humedad y calor del ambiente, generados dentro de la cámara, han humedecido y degradado la capa expuesta del sistema (cinta de cera microcristalina).

En el caso del sistema B, la temperatura alcanzada dentro de la cámara de prueba, ha producido la fuga hacia el exterior, de la cinta de petrolato a través de los poros de la cinta de fibra de vidrio.

El grado intermedio de daño se presenta en el revestimiento E, el cual presenta un oscurecimiento que fue acentuándose a medida que las horas transcurrieron en el ambiente de luz ultravioleta y por efecto de los vapores calientes de la solución de prueba, pero no mostró defectos post-ensayo al realizarle la prueba con el “*holiday detector*”. Por el contrario, el sistema F, a pesar de presentar defectos similares, sí ha evidenciado la presencia de fallas en la evaluación post-ensayo.

Prueba de niebla salina

- *Descripción*

Se ejecutó esta prueba bajo los lineamientos del estándar ASTM B117 “*Standard Test Method of Salt Spray (fog) Testing*”, aplicable para revestimientos orgánicos e inorgánicos. La prueba ha consistido en exponer las muestras de forma continua a una niebla salina de pH neutro (pH 6.75, NaCl 5%) a 35°C, durante un período de 500 horas.

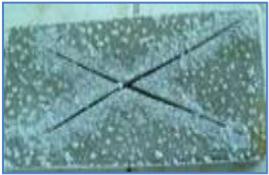
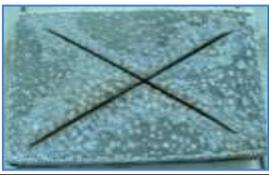
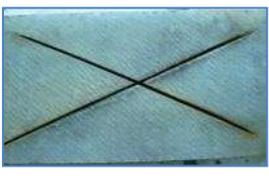
El ensayo se realizó en una cámara, la cual incluye un dispositivo de solución salina, un suministro de aire comprimido, una boquilla pulverizadora, dos soportes de probetas, resistencias de calefacción para la cámara e instrumentos necesarios para el control de la temperatura y presión dentro de la cámara.

Con un instrumento cortante se trazó un aspa (X) en las probetas, atravesando el revestimiento y dejando al descubierto el metal base de cada una de ellas; de esta manera se creó una zona anódica favoreciendo el ataque de la base. Los bordes de las probetas y las áreas con marcas de identificación se sellaron con cinta y silicona.

Al finalizar el ensayo, el estado que presentó el recubrimiento, así como el porcentaje de superficie base afectada por la corrosión, definieron la calificación del producto. En este tipo de recubrimientos, no es típica la aparición de ampollas pero sí, otros signos de deterioro como manchado, levantamiento del revestimiento, oscurecimiento o decoloración de la capa externa, etc.

- *Resultados*

Tabla 4.17: Evolución de la prueba de niebla salina.

PROBETA	B117-A1*	B117-B1	B117-D1	B117-E1	B117-F1
DESPUÉS DE ENSAYO SIN LAVAR					
DESPUÉS DE ENSAYO LAVADAS					
PROBETA	B117-A2*	B117-B2	B117-D2	B117-E2	B117-F2
DESPUÉS DE ENSAYO SIN LAVAR					
DESPUÉS DE ENSAYO LAVADAS					

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.18: Resultados de la prueba de niebla salina.

NIEBLA SALINA			SOLUCIÓN SALINA COLECTADA			PERIODO DE EXPOSICIÓN		
TIPO DE SAL	TIPO DE AGUA	T (°C)	VOL. POR 80 cm ² (ml/h)	% EN PESO A 35°C	pH	FECHA INICIO ENSAYO	FECHA FIN ENSAYO	DURACIÓN (horas)
NaCl	Potable	35 ± 1	1	5 ± 1 g	6.75	21/09/2012	12/10/2012	500

CÓDIGO DE PROBETA	ESPESOR EN SECO (mm)			DETECCIÓN DE DEFECTOS		ASTM B117 “Standard Test Method of Salt Spray (fog) Testing”						
				ASTM G 62		CORTE EN LA PROBETA	MANCHADO	FÁCIL LEVANTAMIENTO DE PELÍCULA	CORROSIÓN BAJO PELÍCULA			
	VOLTAJE (V)	FALLA	ASTM D 610									
			MÁX	MÍN	PROM				GRADO DE CORROSIÓN	% SUPERFICIE OXIDADA	% AREA RESISTENTE A LA CORROSIÓN	
B117 A1*	7	4.2	5.38	15000	Sí	Sí	No presenta	Sí	10	0.00%	100.00%	
B117 A2*	9	4	5.75	15000	Sí	Sí	No presenta	Sí	10	0.00%	100.00%	
B117 B1	5	3	4.38	12000	Sí	Sí	Sí presenta	Sí	10	0.00%	100.00%	
B117 B2	5.9	3.3	4.71	15000	Sí	Sí	Sí presenta	Sí	10	0.00%	100.00%	
B117 C1	No presentó probetas											
B117 C2												
B117 D1	5.5	4	4.53	12000	No	Sí	Sí presenta	Sí	10	0.00%	100.00%	
B117 D2	5.9	4	4.90	15000	No	Sí	Sí presenta	Sí	10	0.00%	100.00%	
B117 E1	16	16	15.50	15000	No	Sí	No presenta	No	10	0.00%	100.00%	
B117 E2	15	15	14.75	13000	No	Sí	No presenta	No	10	0.00%	100.00%	
B117 F1	12	8	9.81	15000	No	Sí	No presenta	No	10	0.00%	100.00%	
B117 F2	11	7	9.69	15000	No	Sí	No presenta	No	10	0.00%	100.00%	
B117 G1	Las probetas presentadas no podían evaluarse											
B117 G2												

*No se evaluó sistema completo: Sólo se evaluó probeta recubierta con la cera de petrolato y cinta de cera microcristalina.

Fuente: Moscol Tania, 2012.

- *Discusión de resultados*

La inspección visual realizada sobre las probetas extraídas de la cámara, indica que hubo fallas en los sistemas de revestimiento, pero ello no implicó daño corrosivo en el metal base de las probetas. Es decir, que en cuanto a resistencia a la corrosión, todos los sistemas responden al 100%, a pesar de la marca en X realizada sobre la superficie del revestimiento.

Los resultados de la Tablas 4.17 y 4.18 reflejan el deterioro de los revestimientos, observándose, en el peor de los casos, el levantamiento de la capa exterior o protección mecánica en el sistema D, también se aprecia manchado color marrón en el sistema B, adyacente a las líneas del marcado preliminar, probablemente ocasionado por la esquirlas al momento de realizar la marca en X. El resto de las probetas ensayadas no muestran cambios que sean de consideración.

En resumen, para fines comparativos, el sistema de revestimiento con mayor deterioro ha sido el sistema D, mientras que los sistemas E y F han resultado ser los de mejor conservación.

4.1.2 Evaluación económica

En este apartado se hará una comparación económica entre cada uno de los sistemas, aunque no será necesariamente el parámetro que predomine en la elección final.

La evaluación económica considera el costo total de la instalación, desglosándolo en costo por materiales y costos de instalación incluyendo equipos, recursos necesarios y personal desplegado.

4.1.2.1 Costo de materiales

Durante la realización de las pruebas piloto, se observó que para la realización del servicio completo, no todos los pilotes serían cubiertos en la misma longitud. Aquellos ubicados en los *dolphins* de atraque (N°3, N°4, N°5 y N°6), cuentan con una distancia menor entre el pelo de agua y la base inferior de la estructura, en comparación de los pilotes ubicados en los *dolphins* de amarre (N°1, N°2, N°7 y N°8), la plataforma de carga, el acceso principal y los caballetes; ello se aprecia en las Figs. 2.4 y 2.5. Por ello a los proveedores se les hizo la observación adicional, indicada en la Tabla 4.19 para la presentación de su presupuesto referencial.

Tabla 4.19: Consideraciones para los trabajos de recubrimiento.

UBICACIÓN	CANTIDAD	LONG. A PROTEGER
Dolphins de amarre, caballetes, acceso principal y plataforma de carga.	100 pilotes	4 metros
Dolphin de atraque.	80 pilotes	3.5 metros

Fuente: Moscol Tania, 2012

Los costos de los materiales, fueron presentados por cada uno de los proveedores en cotizaciones referenciales, de tal manera que se puedan obtener montos aproximados de cuanto sería el costo para el material requerido en la protección de los 180 pilotes del muelle del Terminal Bayóvar.

A excepción de los sistemas C y G de los cuales no se obtuvo una cotización referencial, con la información de las otras instalaciones se han elaborado las Tablas 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 y 4.24 que se muestran a continuación.

Tabla 4.20: Costo de materiales sistema A.

ÍTEM	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P. UNIT. (US. \$)	P. TOTAL (US. \$)
1	Capuchones de HDPE (PISHWR100 <i>Pile Shield Wrap</i> (2.5 mm espesor))	m.	18445	4.52	83,371.40
2	Cinta de Cera Microcristalina para protección contra Corrosión (#1 <i>Wax Tape</i>)	Rollo (229 mm x 457 mm)	472	164.66	77,719.52
3	Primer a base de cera microcristalina (PIP-1CN <i>Pile Primer</i>)	Balde (3.79 L)	44	99.81	4,391.64
4	Zunchos/Flejes de acero inoxidable (SSBAND-316 <i>Stainless Steel Banding</i> - 316)	Rollo	153	262.15	40,108.95
5	Ganchos para sujetar zunchos/flejes (SSBUCK-316 <i>Stainless Steel Buckles</i> -316). Se incluyen 2 máquinas de ajuste y corte para trabajos.	Caja (100 und.)	18	202.47	3,644.46
Precio total de materiales (US. \$) 209,235.97					

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia propuesta técnica comercial de Morken Perú para el sistema A.

Tabla 4.21: Costo de materiales sistema B.

ÍTEM	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P. UNIT. (US. \$)	P. TOTAL (US. \$)
1	Cinta de fibra de vidrio (<i>Syntho-Glass</i>)	Rollo (20.3 cm x 15.24 m)	2080	181.72	377,977.60
2	Cinta de petrolato (<i>Petrolatum Tape</i>)	Rollo (15.2 cm x 10.06 m)	1640	42.28	69,339.20
3	Imprimante de petrolato (<i>Petrolatum Primer</i>)	Balde (2.5kg)	108	73.74	7,963.92
4	Filmina de compression (<i>Compression Film Clear</i> 400ga 4mil)	Rollo (10.2 cm x 68.6 m)	1000	25.26	25,260.00
Precio total de materiales (US. \$) 480,540.72					

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia propuesta técnica comercial de Morken Perú para el sistema B.

Tabla 4.22: Costo de materiales sistema D.

ÍTEM	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P. UNIT. (US. \$)	P. TOTAL (US. \$)
1	Pasta de petrolato SHAIC	kg	540	14	7,560.00
2	Cinta marina de petrolato SHAIC	Rollo (300 mm x 10 m)	1,350	63.25	85,387.50
3	Cinta de PVC (primera capa) SHAIC	Rollo (300 mm x 30 m)	450	66.5	29,925.00
4	Cinta de PVC (segunda capa)	Rollo (150 mm x 30 m)	900	96	86,400.00
5	Cinta de PVC (tercera capa)	Rollo (150 mm x 30 m)	900	110	99,000.00
Precio total de materiales (US. \$) 308,272.50					

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia propuesta técnica económica de Maincco S.A para el sistema D.

Tabla 4.23: Costo de materiales sistema E.

ÍTEM	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P. UNIT. (US. \$)	P. TOTAL (US. \$)
1	Camisas translúcidas (FRP <i>Jackets</i>)	Und. (787 mm x 3.65 m x 3.18 mm)	80	2,250.00	180,000.00
2	Camisas translúcidas (FRP <i>Jackets</i>)	Und. (787 mm x 4 m x 3.18 mm)	100	2,465.75	246,575.00
3	APE Grout	Kit x 90 L.	286	1,250.00	357,500.00
4	Hydrocote 1063 (Pasta)	Kit x 2 Gal.	90	250.00	22,500.00
5	Hydrocote 3061-I	Kit x 2 Gal.	45	250.00	11,250.00
6	Lubricante para manguera (<i>Brutem Lubricant</i>)	Kit x 5 Gal.	20	350.00	7,000.00
7	Remaches y sujetadores (<i>Rivets 1/4-3/8 Grip, 3/16"</i> DIA)	Und.	21,600	0.50	10,800.00
8	Nylon Standoff	Und.	18,000	0.15	2,700.00
9	Correas para la camisa (<i>Jacket Strap 10'</i>)	Und.	50	15.00	750.00
10	Sello de espuma (<i>Denver Foam</i>)	Rollo de 200 Pies	10	800.00	8,000.00
Precio total de materiales (US. \$)					847,075.00

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia presupuesto referencial de BASF.

Tabla 4.24: Costo de materiales sistema F.

ÍTEM	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P. UNIT. (US. \$)	P. TOTAL (US. \$)
1	Cinta visco-elástica submarina (STOPAQ Wrappingband SZ / Holanda)	Rollo (100 mm x 6 m)	4,187	101.50	424,980.50
2	Cinta visco-elástica atmosférica (STOPAQ Wrappingband CZH / Holanda)	Rollo (100 mm x 10 m)	502	78.90	39,607.80
3	Cinta de PVC (STOPAQ <i>Intermediate Wrap</i> PVC / Taiwan)	Rollo (75 mm x 30 m)	1,518	9.10	13,813.80
4	Sello (STOPAQ <i>Sealing Tape</i> / Alemania)	Rollo (100 mm x 20 m)	46	137.10	6,306.60
5	Cinta de fibra de vidrio (STOPAQ <i>Outerglass Shield XT24</i> / USA)	Rollo (203 mm x 18 m)	1,423	328.00	466,744.00
6	Cinta de compresión (STOPAQ <i>Compression Foil</i>)	Rollo (500 mm x 170 m)	171	17.30	2,958.30
7	Rodillo (STOPAQ <i>Puncture roller</i>)	Und.	20	180.00	3,600.00
8	Guante (STOPAQ <i>Glove</i>)	Par	250	2.00	500.00
9	Guante (<i>Latex Glove</i>)	Par	250	1.16	289.00
Precio total de materiales (US. \$)					958,800.00

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia propuesta técnica económica de Maincco S.A. para el sistema F.

Las 5 tablas mostradas anteriormente, han tenido como referencia las cotizaciones obtenidas de los diferentes sistemas para protección anticorrosiva de estructuras marinas en funcionamiento, que además se han instalado en prueba el sistema que proponen en un pilote del Terminal; con lo cual se cuenta ya con una experiencia muy cercana a la realidad, de la cantidad de materiales e insumos necesarios, para cubrir el servicio completo.

Para poder hacer una comparación económica del costo por material para la instalación se ha elaborado la Tabla 4.25, llevando los costos totales a costos unitarios por m^2 y haciendo una proyección del costo de materiales para cubrir un número determinado de pilotes.

Se aprecia que el costo mayor es el de los materiales del sistema F conformado por cintas visco - elásticas y de fibra de vidrio, cuyos procesos de fabricación siguen procedimientos

más rigurosos y costosos. El siguiente sistema de mayor costo es el E, el cual está conformado principalmente por chaquetas de fibra de vidrio, que deben ser fabricadas a medida de la estructura que se desea proteger, lo cual requiere de una ingeniería previa de diseño y una inspección donde se tomen las medidas exactas de los pilotes.

Tabla 4.25: Costo de materiales.

SISTEMA	A	B	C	D	E	F	G
Costo material (US. \$)	209,235.97	480,540.72	No	308,272.50	847,075.00	958,800.00	No
Costo material/m ² (US. \$)	128.87	295.98	presentó cotización	189.87	521.73	590.55	presentó cotización

Fuente: Moscol Tania, 2012.

4.1.2.2 Costo de instalación

En cuanto al costo de instalación, de los 5 presupuestos referenciales alcanzados se pueden diferenciar dos grupos.

Uno conformado por los sistemas A, B, D y F que consisten principalmente en la aplicación de cintas de diferentes composiciones (petrolato, cera microcristalina, visco-elásticas, fibra de vidrio y PVC) o capuchones de polietileno, este tipo de materiales no requieren mayor movilización de personal ni embarcaciones para la instalación del sistema, por lo que los requerimientos en la aplicación constituyen un gasto menor.

En el otro grupo se encuentra el sistema E, el cual está conformado por chaquetas de fibra de vidrio y requiere el uso de un equipo de mezclado pluricomponente y herramientas neumáticas para llevar a cabo una correcta aplicación. Además para que el “grout” se adhiera correctamente, se requiere una superficie limpia, mínimo con un arenado comercial a metal casi blanco. Por lo mencionado anteriormente se emplean un mayor número de buzos, así como otro tipo de embarcación para el transporte al lugar de trabajo, que otorguen las condiciones necesarias para el funcionamiento correcto de los equipos a utilizar.

En las Tablas 4.26 y 4.27 se mencionan de forma general cada una de las partidas referentes a la instalación, que implican los presupuestos de ambos grupos.

Tabla 4.26: Costo de instalación sistemas A, B, D y F.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	P. TOTAL (US. \$)
1	ESTRUCTURA DE PRECIO DE MANO DE OBRA Ingeniero residente (2), supervisor de buceo (1), buzos (6), otro personal (2).	84,153.60
2	MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS Compresor de buceo, material de arenado, regulador de buceo, botellas de buceo, trajes de buceo, material de buceo, herramientas y conexiones.	7,969.50
3	EMBARCACIONES Lancha plataforma de arenado y lancha plataforma de buceo.	101,444.40
4	TRANSPORTE	31,185.00
5	DIVERSOS	32,445.20
6	OTROS MATERIALES	8,994.60
COSTO (US. \$)		266,192.30

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia presupuestos presentados por Morken Perú y Maincco S.A.

Tabla 4.27: Costo de instalación sistema E.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	P. TOTAL (US. \$)
1	OBRAS PRELIMINARES	28,200.00
2	INSTALACIÓN DEL SISTEMA APE Travesía, dirección de operaciones, buzos (5), lancha (1), bote de buceo (con tripulación), barcaza (con tripulación) y consumibles.	567,355.93
3	EQUIPOS SISTEMA APE Equipo APE, esmeril angular neumático, taladro neumático, remachadora neumática, combustible y mantenimiento de equipos.	37,600.00
COSTO (US. \$)		633,155.93

Fuente: Moscol Tania, 2012. Referencia presupuestos presentados por BASF.

Lo que hace la diferencia en cuanto al servicio total de instalación del recubrimiento de la zona de salpicadura para los 180 pilotes (tomando en cuenta las consideraciones de la Tabla 4.19), son los costos adicionales que considera cada uno de los proveedores de los diferentes sistemas evaluados, como son los gastos generales, los gastos administrativos y las utilidades. Los montos totales por la realización del servicio completo se muestran en la Tabla 4.28.

Tal como es de esperarse debido al alto costo en cuanto a instalación al requerir mayor personal, herramientas y equipos, así como el costo de sus materiales, el mayor costo por el servicio total es el del sistema E.

Tabla 4.28: Costo del servicio de recubrimiento de la zona *splash* de los 180 pilotes.

Sistema	A	B	C	D	E	F	G
Costo de materiales (US. \$)	209,235.97	480,540.72	No presentó cotización	308,272.50	847,075.00	958,800.00	No presentó cotización
Costo de instalación (US. \$)	266,192.30	266,192.30		266,192.30	633,155.93	266,192.30	
Gastos generales, gastos administrativos y utilidades (US. \$)	165,544.12	266,957.05		73,807.70	355,255.42	73,807.70	
Costo total general del servicio completo (US. \$)	640,972.39	1,013,690.07		648,272.50	1,835,486.35	1,298,800.00	

Fuente: Moscol Tania, 2012.

4.2 Calificación de los sistemas

El objetivo de esta tesis es proponer la solución idónea, para la elección por parte de la empresa PETROPERÚ; del sistema más completo que cumpla con los requisitos necesarios, para brindar una excelente protección a la zona de salpicadura de los 180 pilotes del muelle de su Terminal. El sistema que le permita cumplir a la empresa con los compromisos establecidos con identidades reguladoras del estado, respecto a la protección contra la corrosión con las que debe contar el muelle, asegurando su operatividad y vida útil.

Para ello se ha elaborado una tabla, donde cada sistema tendrá una calificación cuantitativa que permitirá numéricamente realizar un ranking según la puntuación total, producto de la suma de los puntajes obtenidos en la evaluación técnica (evaluación de la aplicación en campo y en laboratorio) y evaluación económica, de cada uno de los sistemas considerados.

4.2.1 Calificación técnica

4.2.1.1 Calificación de la aplicación del sistema en campo

En el punto 4.1.1.1 se describen cada una de las aplicaciones realizadas en 7 de los pilotes del muelle. Resumiendo la instalación en cuatro puntos principales, que son: la aplicación del sistema, las facilidades empleadas durante los trabajos, la compatibilidad con el medio ambiente de los componentes utilizados y el desempeño del sistema.

Se ha elaborado la Tabla 4.29 donde para cada uno los cinco aspectos, se ha definido una escala valorativa. Se coloca la puntuación respecto a cada uno de los puntos principales que se describen en el apartado 4.1.1.1, calificando como malo, regular, bueno o muy bueno, según haya sido la respuesta del sistema. Los puntajes cualitativos obtenidos según los criterios considerados (Tabla 4.29), para evaluar los trabajos de aplicación de los recubrimientos (apartado 4.1.1.1), se muestran en la Tabla 4.29.

Tabla 4.29: Puntuación para evaluación de aplicación en campo.

CRITERIOS	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
Aplicación del sistema	0	15	25	35
Facilidades para la aplicación	0	10	20	30
Compatibilidad con el medio ambiente	0	2	3	5
Desempeño del sistema	0	10	20	30

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.30: Calificación de la aplicación en campo.

CRITERIOS	SISTEMAS						
	A	B	C	D	E	F	G
Aplicación del sistema (Tabla 4.2)	25	25	15	25	35	35	15
Facilidades para la aplicación (Tabla 4.3)	30	30	20	30	20	30	20
Compatibilidad con el medio ambiente (b, pág. 78)	2	2	2	2	2	3	2
Desempeño del sistema (Tablas del 4.4 al 4.9)	30	10	10	10	30	20	10
Calificación total de la aplicación en campo	87	67	47	67	97	88	47

Fuente: Moscol Tania, 2012.

De la Tabla 4.30 podemos afirmar que los sistema E, F y A han obtenido los mayores puntajes en cuanto a la instalación en campo, por otro lado aquellos sistemas que dejaron incompleta su aplicación en el caso de los sistemas C y G son los que menor puntaje obtuvieron.

4.2.1.2 Calificación de la aplicación del sistema en laboratorio

En el punto 4.1.1.2 se describen las pruebas de laboratorio realizadas a las probetas alcanzadas de 6 de los 7 sistemas instalados en el muelle. De los ensayos realizados, los que arrojan un resultado cuantitativo son las pruebas de: Absorción de agua, resistencia al desprendimiento catódico, resistencia al impacto y adherencia. Mientras que las pruebas de resistencia a la intemperie (cámara de intemperismo acelerado) y a los medios agresivos (cámara de niebla salina), junto con la prueba de detección de defectos arrojan resultados cualitativos, esta última se toma como referencia en los demás ensayos, para verificar las condiciones iniciales y finales de las probetas una vez realizado el ensayo.

Las Tablas 4.31 y 4.32 se han elaborado para poder asignar un puntaje a cada una de las respuestas de las probetas, frente a criterios específicos en los ensayos de intemperismo y niebla salina, para, de esta manera, obtener un valor cualitativo que permita realizar una mejor calificación.

Tabla 4.31: Puntuación para prueba de intemperismo acelerado.

CRITERIOS	PERÍODO DE EXPOSICIÓN (horas)			
	240	480	720	más
Falla	0	6	15	25
Depósitos	0	3	7	10
Coloración	0	5	7	10
Envejecimiento	0	7	15	30
Brote de capa interna	0	7	15	25

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.32: Puntuación para prueba de cámara de niebla salina.

CRITERIOS			
Fácil levantamiento de película	Área resistente a la corrosión		
En cámara	28	100%	60
Fuerza externa	12	0%	0

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Teniendo en cuenta los rangos de puntuación establecidos en la Tablas 4.31 y 4.32, se procede a calificar los resultados de la prueba de intemperismo acelerado (Tablas 4.15 y 4.16) y niebla salina (Tablas 4.17 y 4.18) respectivamente, detallando la puntuación en las Tablas 4.33 y 4.34.

Tabla 4.33: Calificación por criterio evaluado para la prueba de intemperismo acelerado.

CRITERIOS	SISTEMAS						
	A	B	C	D	E	F	G
Falla	Las probetas presentadas no pudieron ser evaluadas.	0	No presentó probetas	25	25	6	Las probetas presentadas no pudieron ser evaluadas.
Depósitos		10		0	10	10	
Coloración		0		10	0	0	
Envejecimiento		7		30	30	30	
Brote de capa interna		7		25	25	25	
Total	0	24	0	90	90	71	0

Fuente: Moscol Tania, 2012..

Tabla 4.34: Calificación por criterio evaluado para la prueba de niebla salina.

CRITERIOS		SISTEMAS						
		A	B	C	D	E	F	G
Fácil levantamiento de película	En cámara	Las probetas presentadas no pudieron ser evaluadas.	28	No presentó probetas	7	28	28	Las probetas presentadas no pudieron ser evaluadas.
	Fuerza externa		0		0	12	12	
Área resistente a la corrosión			60		60	60	60	
Total		0	88	0	67	100	100	0

Fuente: Moscol Tania, 2012.

En la Tabla 4.34 empleando los valores de las Tablas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.33 y 4.34, se ha colocado el resultado de las pruebas a las que fueron sometidos cada uno de los grupos de probetas de los diferentes sistemas según la propiedad evaluada.

Posteriormente se otorga un puntaje, la asignación del mencionado puntaje para cada característica se realiza de la siguiente manera, al mejor resultado obtenido se le coloca el valor de 1 y por regla proporcional se asigna el puntaje a los demás resultados.

En la Tabla 4.37 se muestran los puntajes de la calificación de la aplicación del sistema en base a los ensayos de laboratorio, tomados de la Tabla 4.35. Se calcula N (suma de puntajes ponderados obtenidos por cada sistema según las propiedades evaluadas) multiplicando los puntajes de la Tabla 4.35 por los pesos de la Tabla 4.36.

Tomado como referencia G_i (vida útil garantizada por cada fabricante) se determina P , siendo 1 el valor asignado al mayor número de años y los demás valores se asignan proporcionalmente.

Con O (N dividido por el mejor puntaje) y P se calcula Q , para luego hallar los puntajes totales, que es Q dividido por el mejor puntaje y multiplicado por 100.

De los 6 sistemas que se pudo evaluar en laboratorio, los que mejor puntaje obtuvieron fueron los sistemas D y E, con una diferencia muy cercana debido al puntaje obtenido en la prueba de absorción de agua.

Tabla 4.35: Asignación de puntaje según propiedad evaluada.

ÍTEM	PROPIEDAD EVALUADA	SISTEMAS										Sistema G	
		Sistema A		Sistema B		Sistema C	Sistema D		Sistema E		Sistema F		
		Resultado	Puntaje	Resultado	Puntaje		Resultado	Puntaje	Resultado	Puntaje	Resultado		Puntaje
1	Absorción de agua (%)	0.798	0.0088	0.656	0.0107	No presentó probetas	0.007	1.00	0.481	0.0146	0.832	0.0084	Las probetas presentadas no pudieron ser evaluadas.
2	Resistencia al desprendimiento catódico	0.00	1.00	0.00	1.00		0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	
3	Resistencia a la intemperie	Las probetas presentadas no pudieron ser evaluadas.		24.00	0.27		90.00	1.00	90.00	1.00	71.00	0.79	
4	Resistencia al impacto (g-cm)			44.58	0.25		175.74	0.99	177.61	1.00	177.61	1.00	
5	Adherencia (kg/cm ²)			14.88	0.37		20.88	0.52	40.00	1.00	19.06	0.48	
6	Resistencia a medios agresivo - cámara de niebla salina			88.00	0.88		67.00	0.67	100.00	1.00	100.00	1.00	
7	Detección de defectos	Sin discontinuidad		Discontinuidad			Sin discontinuidad		Sin discontinuidad		Sin discontinuidad		

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.36: Asignación de pesos según propiedad.

ÍTEM	PROPIEDAD	NORMA	PUNTUACIÓN POR PUNTAJE FAVORABLE	PESO SEGÚN PROPIEDAD
1	Absorción de agua	ASTM D570	Pmín/Pi	15%
2	Resistencia al desprendimiento catódico	ASTM G8	Pi/Pmáx	15%
3	Resistencia a la intemperie	ASTM G53	Pi/Pmáx	20%
4	Resistencia al impacto	ASTM G14	Pi/Pmáx	20%
5	Adherencia	ASTM D4541	Pi/Pmáx	10%
6	Resistencia a medios agresivo - cámara de niebla salina	ASTM B117	Pi/Pmáx	20%
7	Detección de defectos	ASTM G62	Sin discontinuidades	

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Tabla 4.37: Calificación de la aplicación del sistema en laboratorio.

ÍTEM	PROPIEDAD EVALUADA	PESO SEGÚN PROPIEDAD	ASIGNACIÓN DE PUNTAJE SEGÚN PROPIEDAD EVALUADA													
			Sistema A		Sistema B		Sistema C		Sistema D		Sistema E		Sistema F		Sistema G	
			Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado
1	Absorción de agua (%)	15%	0.01	0.001	0.01	0.002	No entregó probetas.	1.00	0.150	0.01	0.002	0.01	0.001	Las probetas suministradas no permitieron evaluar estas propiedades para el sistema completo.		
2	Resistencia al desprendimiento catódico	15%	1.00	0.150	1.00	0.150		1.00	0.150	1.00	0.150	1.00	0.150			
3	Resistencia a la intemperie (horas)	20%	Las probetas suministradas no permitieron evaluar estas propiedades.		0.27	0.053		1.00	0.200	1.00	0.200	0.79	0.158			
4	Resistencia al impacto (g-cm)	20%			0.25	0.050		0.99	0.198	1.00	0.200	1.00	0.200			
5	Adherencia (kg/cm ²)	10%			0.37	0.037		0.52	0.052	1.00	0.100	0.48	0.048			
6	Resistencia a medios agresivo - cámara de niebla salina (%)	20%	0.88	0.176	0.67	0.134		1.00	0.200	1.00	0.200					
7	Detección de defectos		Sin discontinuidad		Discontinuidad			Sin discontinuidad		Sin discontinuidad		Sin discontinuidad				
N: Total puntaje ponderado			0.151		0.468		0		0.884		0.852		0.757		0	
O: Puntaje afectado del mejor resultado técnico			0.171		0.530		0		1.000		0.964		0.856		0	
Gi: Vida útil garantizada (años)			12		12		12		10		12		15		15	
P: Puntaje por vida útil			0.8		0.8		0.8		0.667		0.8		1		1	
Q: Puntaje parcial (0.8xO + 0.2xP)			0.2969		0.5838		0.16		0.9333		0.9311		0.8847		0.2000	
PUNTAJE TOTAL			31.81		62.55		17.14		100.00		99.77		94.79		21.43	

Fuente: Moscol Tania, 2012.

4.2.2 Calificación económica

En el apartado 4.1.2.1 y 4.1.2.2 se detallan los costos de materiales e instalación respectivamente para cada uno de los sistemas. Tomando los resultados de la Tabla 4.28 se realizará la calificación económica colocando la puntuación respecto al costo de la realización total del proyecto. Al sistema con el menor monto se le asigna el mayor puntaje (100 puntos) y por regla proporcional se otorga el puntaje a los demás sistemas.

Los puntajes obtenidos según el criterio establecido, para cada uno de los recubrimientos aplicados, se muestran en la Tabla 4.38.

Tabla 4.38: Calificación económica.

SISTEMA	COSTO TOTAL GENERAL DEL SERVICIO COMPLETO (US. \$)	PUNTAJE
A	640,972.39	100
B	1,013,690.07	63.23
C	No entregó cotización	0
D	648,272.50	98.87
E	1,835,486.35	34.92
F	1,298,800.00	49.35
G	No entregó cotización	0

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Aquellos sistemas que no entregaron su cotización referencial se les asignó cero como puntaje.

4.3 Resultados

Con los resultados obtenidos en las calificaciones hechas que se presentan en las Tablas 4.30, 4.37 y 4.38, se ha elaborado la Tabla 4.39 afectando los puntajes por el peso que se le ha otorgado a cada calificación.

Según la puntuación obtenida podemos recomendar como sistema más idóneo a las necesidades de la zona “*splash*” de los 180 pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar el sistema E (APE - Encapsulación avanzada de pilotes).

Tabla 4.39: Calificación final.

CALIFICACIÓN		PESO	Sistema A		Sistema B		Sistema C		Sistema D		Sistema E		Sistema F		Sistema G	
			Puntaje	Ponderado												
TÉCNICA	Aplicación del sistema en campo	50%	87	43.5	67	33.5	47	23.5	67	33.5	97	48.5	88	44	47	23.5
	Aplicación del sistema en laboratorio	35%	31.81	11.13	62.55	21.89	17.14	6.00	100	35	99.77	34.92	94.79	33.18	21.43	7.50
ECONÓMICA		15%	100	15	63.23	9.48	0	0	98.87	14.83	34.92	5.24	49.35	7.40	0	0
TOTAL		100%	69.63		64.88		29.50		83.33		88.66		84.58		31.00	

Fuente: Moscol Tania, 2012.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones:

1. La corrosión en estructuras marinas, como es en el caso de los muelles, muestra tres zonas importantes: Una zona completamente sumergida, en la que el acero se corroe a muy baja velocidad, dada la poca disponibilidad de oxígeno. Otra zona intermedia, comprendida en la zona de “splash”, donde ocurre un alto porcentaje de corrosión, debido a un continuo humedecimiento seguido por un secado, que provee a la estructura tanto de altas concentraciones de cloruros como de suficiente oxígeno. La zona inmediatamente arriba de la zona de salpicadura generalmente presenta un menor grado de corrosión, debido a que los cloruros son transportados allí por el viento en menor cantidad y el contenido de humedad es bajo.
2. El presente estudio intenta brindar información sobre la instalación de sistemas de protección anticorrosiva para la zona “splash”, de los pilotes en servicio del muelle en el Terminal Bayóvar, y en general para este tipo de estructuras inmersas parcialmente en el mar. Mostrando las dificultades que se presentan en el momento de la instalación y consideraciones a tener en cuenta, para lograr el correcto funcionamiento de los sistemas instalados. Así mismo, se logró dimensionar el trabajo en cantidad de material, herramientas y equipos demandados, además del costo aproximado del proyecto, de acuerdo a los requerimientos del muelle.
3. Al ser PETROPERÚ una empresa cuya principal función es el transporte, distribución y comercialización de combustible y otros productos derivados de hidrocarburos, lo que se busca con este estudio, es definir el sistema más adecuado para ser instalado en estructuras en funcionamiento, que no comprometan la integridad de la instalación existente y que sea bastante amigable con el medio ambiente.
4. Realizar la instalación a modo de prueba de varios sistemas de protección existentes en el mercado para la protección anticorrosiva de la zona de salpicadura de los pilotes, demanda tiempo, personal y costos asociados a la práctica (instalación y materiales). Para PETROPERÚ, lo más importante es la adecuada aplicación, el buen desempeño como sistema anticorrosivo en la zona “splash” y la garantía que brinde el sistema ante cualquier eventualidad de los productos implicados. Es importante además la experiencia y continua mejora que cada fabricante tenga con su sistema de protección propuesto probado y calificado exitosamente.
5. Cualquier sistema que ofrezca una barrera protectora en la zona de aplicación, es decir, que selle el sustrato metálico del ambiente que lo rodea y actúe impidiendo la corrosión,

logrará un buen desempeño como sistema protector anticorrosivo, siempre y cuando el componente del sistema que brinde la protección mecánica, ofrezca la suficiente garantía para mantener asegurado el sistema al sustrato, logrando así actuar como barrera protectora. Es necesario que la protección mecánica exterior tenga una buena resistencia a los rayos UV y un buen desempeño, o al menos que su degradación sea mínima, ante posibles impactos de embarcaciones o de la acción humana, los medios agresivos o cualquier elemento que propicie el medio donde se desempeñe.

6. La geometría de los pilotes del muelle es muy práctica, ya que permite sencillez en los trabajos de instalación, pues no cuentan con estructuras complejas, si no superficies totalmente llanas. Además las únicas estructuras adicionales son las bitas que emplean las embarcaciones pequeñas para amarrarse a los pilotes. Gracias a esto, todos los sistemas evaluados pueden ser aplicados sin mayor dificultad en los 180 pilotes del muelle, en el caso de los sistemas C, E y G cuyos componentes son chaquetas de fibra de vidrio, hay un estudio (ingeniería de diseño previo) para verificar el dimensionamiento necesario para cada camisa, que es fabricada a medida exacta de la estructura a proteger.
7. De lo observado durante la instalación de los sistemas, es importante señalar que cada configuración estructural distinta, es un reto diferente de aplicación de los recubrimientos de protección y más en condiciones de fuerte oleaje. Debido a la importancia de la instalación de un sistema anticorrosivo para la zona “splash” de los pilotes, se recomienda tener en cuenta el tiempo de vida útil de los sistemas a utilizar, asociando los costos de mantenimiento que requiere la estructura y el tiempo necesario para la instalación.
8. Debido a que las normas empleadas en las pruebas de laboratorio han sido establecidas para evaluar recubrimientos inorgánicos aplicados sobre probetas planas, ninguna de las probetas ensayadas cumplen estrictamente con las especificaciones que los estándares establecen para realizar los ensayos de laboratorio. Pero podemos afirmar que los resultados son bastante confiables como referencia en la selección del sistema más idóneo para la protección de los pilotes del Terminal Bayóvar, considerando que:
 - Los ensayos de laboratorio llevados a cabo son los que recomiendan las normas NACE RP 0169 y NACE TM0497.
 - Los sistemas en evaluación han sometido cada uno de sus componentes por separado a las mismas pruebas llevadas a cabo en el laboratorio, pero no cuentan con información de la aplicación en conjunto. Lo que busca la tesis con las pruebas de laboratorio son resultados de la evaluación de cada sistema considerándolos tal como fueron aplicados en campo.
 - Las normas ASTM consideradas durante los ensayos de laboratorio, establecen dimensiones de espesor, ancho y largo para las probetas que se desean evaluar. Pero el tipo de sistemas en estudio, aplicado en conjunto no puede ser instalado en probetas con esas dimensiones, por ello se decidió modificar las dimensiones de las muestras para todos los sistemas siempre que permitan evaluarse en los equipos de laboratorio y que además los sistemas puedan ser aplicados sin alterar sus características de ajuste y protección como sistema.
 - Pese a que las pruebas no se ejecutaron estrictamente bajo las normas estándar, todas las probetas fueron sometidas a las mismas condiciones en cada una de las pruebas de laboratorio.

9. Las pruebas de laboratorio realizadas a los sistemas instalados sirvieron para comparar los sistemas entre sí, verificando sus respuestas frente a las pruebas de absorción de agua, resistencia al desprendimiento catódico, resistencia al impacto, resistencia a los medios agresivos, adherencia y resistencia a la intemperie; previa instalación “in situ”. Logrando determinar un mejor desempeño del sistema D seguido del E, frente a los demás recubrimientos que fueron evaluados. Pese a que algunas de las pruebas no se ejecutaron estrictamente bajo las normas estándar, todas las probetas fueron sometidas a las mismas condiciones en cada una de las pruebas de laboratorio.
10. Se buscó aplicar los sistemas en campo, para que tanto los proveedores como PETROPERÚ, vean la magnitud de los trabajos necesarios para proteger la zona “splash” con cada uno de los sistemas evaluados. Con ello se buscó también que al reconocer el proveedor las necesidades en campo, pudiera entregar un presupuesto lo más ajustado posible, teniendo en cuenta todas las dificultades encontradas durante la prueba en campo. Así mismo PETROPERÚ pudo verificar la aplicabilidad de los sistemas, además de la logística y facilidades para llevar a cabo de la mejor manera la instalación, factores tomados en cuenta en la evaluación.
11. Se observó una diferencia entre los costos para los sistemas que utilizaban una chaqueta prefabricada de fibra de vidrio, con un componente epóxico inyectado en el espacio anular y los sistemas a base de cintas con diferentes composiciones. Esto debido a las diferencias en cuanto a la preparación superficial necesaria, recomendada por el fabricante. Los sistemas tipo enchaquetado tienen la necesidad de un mejor acabado del sustrato para poder instalarse, mientras que para los sistemas tipo bandas no se recomienda una superficie con un mayor grado de limpieza, además debe considerarse el costo agregado que implica el prefabricado de chaquetas y las herramientas adicionales. Todo ello repercute en el valor del recubrimiento, debido al mayor número de personal, las facilidades, herramientas y equipos necesarios.
12. Si se comparan los costos de las masillas epóxicas con los nuevos sistemas existentes en el mercado y principalmente con aquellos seleccionados para la evaluación, los costos de instalación de sistemas alternativos, no pueden competir con los precios de los sistemas que son comúnmente usados en la actualidad, ya que los superan ampliamente.

Recomendaciones:

1. Ante la falta de estándares que permitan evaluar sistemas multicapa para proteger de la corrosión estructuras sumergidas, se propone emplear los procedimientos seguidos en los ensayos de laboratorio de la presente tesis, los cuales se basan en las normas NACE y ASTM empleadas para evaluar recubrimientos inorgánicos en cuyo uso no se emplean mayores espesores.
2. La empresa PETROPERÚ tiene como política el manejo ambiental y el resguardo de la integridad de todas las personas que laboren en sus instalaciones, todas las actividades operativas y proyectos, se planifican y ejecutan considerando el principio preventivo y cuidado del medio ambiente y del personal; por tanto los sistemas instalados, no deben representar riesgos de contaminación o toxicidad al ambiente marino, ni para las personas encargadas de la instalación.

3. Hay que tener en cuenta que si PETROPERÚ decide implementar la instalación de sistemas de protección que brinden una mejor protección mecánica como anticorrosiva, el procedimiento de instalación ha sido ya estudiado y contempla al sistema protector como parte esencial de la estructura, el cual no debe ser dañado durante la operación misma de instalación.
4. Es resaltante para este tipo de trabajos, exigir a cada empresa fabricante de los sistemas de protección, la documentación relacionada a las propiedades mencionadas en las hojas técnicas de los productos, además de los estudios de pruebas en laboratorios realizadas sobre sus insumos, referencias de empresas líderes en el sector petrolero o marino, y estudios relacionados con la instalación de sus productos. Para tener información de referencia, en el caso se opte por verificar y comparar los resultados puestos en sus hojas técnicas, con resultados obtenidos por cuenta propia.
5. Los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar, están sujetos actualmente a un proceso de corrosión, que está mermado lentamente su capacidad mecánica y vida útil. Por ello, para brindar un eficiente resguardo contra la corrosión a los pilotes del muelle, es necesario que la protección catódica por corriente impresa funcione eficientemente. Los elementos del sistema de protección catódica deben monitorearse periódicamente, teniendo siempre presente que el tiempo de vida útil de los ánodos es de aproximadamente 20 años. También se recomienda programar con mayor frecuencia un mantenimiento a los rectificadores, tomando medidas correctivas en la fuga de aceite de las válvulas y en la pintura levantada en las paredes laterales y el techo de los rectificadores.
6. La información técnica y científica que cubren el amplio tema de la corrosión, resultan difíciles de recopilar en nuestro medio, mientras que en el ámbito internacional los temas se tratan exhaustivamente en revistas específicas y congresos, y aun así no se pretende dar soluciones únicas a problemas concretos que se puedan presentar en la industria, se acepta que la corrosión es un enemigo existente y nos presenta cuáles son sus características para poder tomar medidas preventivas. Por ello, urge aumentar la motivación en la lucha contra la corrosión, ampliando la información y la educación sobre la corrosión y formas de luchar contra la misma.
7. Es necesario crear una cultura contra la corrosión, no solamente son los conocimientos, sino también el comportamiento proactivo que tengamos, y la toma de decisiones en el tiempo oportuno, lo que hará posible un mayor rendimiento con menor deterioro, evitando riesgos que atenten la integridad de las personas y del medio ambiente.

Bibliografía

1. **BILURBINA Alter, Luis; LIESA Mestres, Francisco; IRIBARREN Laco, José Ignacio.** Corrosión y protección. Barcelona: UPC, 2003. 274p.
2. **GONZALEZ Fernández, José A.** Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Madrid: Grafimad, 1984. 685p.
3. **GONZALEZ, J. A.; FULLEA, J.** Corrosión y protección. 1974. 273p.
4. **LAZZARI, L.; PEDEFERRI, P.** Protezione Catodica (Protección catódica). Italia: Clup, 2006. 263p.
5. **ROSARIO, Francia Samuel; YACONO, Llanos Juan Carlos.** Materiales: La corrosión su tradición y alcances. Lima. [s.n.]. 7p.
6. **SANTANA Rodríguez, Juan José; GONZÁLEZ González, Juan Emilio.** Estudio de la corrosión atmosférica del acero al carbono y sus productos de corrosión mediante el empleo de técnicas electroquímicas, difracción de rayos X y microscopía electrónica. Las palmas de gran canaria. [s.n.]. 10p.
7. **F.A. HUGHES AND CO. LTD.** ORDEN N° MSE 5/26090 Instrucciones de mantenimiento, funcionamiento e informe de la puesta en marcha final del sistema de protección del Muelle Bayóvar. Piura. [s.n.]. 50p.
8. ASTM. Standard Practice for operating light - and water - exposure apparatus (fluorescent UV-condensation type) for exposure of nonmetallic materials (Practica estándar para el dispositivo de exposición de luz - agua (tipo luz UV fluorescente - condensación) para la exposición de materiales no metálicos). G 53. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1983. 6p.
9. ASTM. Standard Test Method of Salt Spray (fog) testing (Método de práctica estándar de prueba de niebla salina). B117. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1973 (1979). 7p.
10. ASTM. Standard Test Method for Impact resistance of pipeline coatings -falling weight test-(Método de prueba estándar para la resistencia al impacto de revestimientos de tuberías -prueba de caída de peso-). G14. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1983. 4p.

11. ASTM. Standard Test Methods for Holiday Detection in Pipeline Coatings (Método de prueba estándar para la detección de defectos en recubrimientos de tuberías) G 62. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1987 (1998). 4p.
12. ASTM. Standard test methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings (Método de prueba estándar para desprendimiento catódico en recubrimiento de tuberías). G8. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1996 (2003). 9p.
13. ASTM. Standard test method for Water Absorption of plastics (Método de prueba estándar para absorción de agua de plásticos). D570. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1998 (2010). 5p.
14. ASTM. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers (Método estándar para prueba Pull-Off de recubrimientos usando el probador portable de adhesión). D4541. Philadelphia: ASTM Committee on Standards, 1995. 11p.
15. BSI. British Standard Specification for Weldable structural steels (Especificaciones de la norma británica para estructuras de acero soldables). BS 4360. SchwellBbare: British Standard Institution, 1986. 59p.
16. NACE. Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems (Control de la corrosión externa en sistemas de tuberías enterrados o sumergidos). NACE RP 0169. Houston, Texas: NACE International, 2002. 30p.
17. NACE. Exterior Protective Coatings for Seawater Immersion Service (Recubrimiento protector exterior para servicios de inmersión en agua marina). NACE TM 0204. Houston, Texas: NACE International, 2004. 7p.
18. NACE. Measurement techniques related to criteria for cathodic protection on underground or submerged piping systems (Técnicas de medición referente a los criterios de protección catódica en sistemas de tuberías enterrados o sumergidos). NACE TM0497. Houston, Texas: NACE International, 2002. 31p.
19. NACE. Electrical isolation of cathodically protected pipelines (Aislamiento eléctrico de tuberías protegidas catódicamente). NACE RP 0286. Houston, Texas: NACE International, 2002. 19p.
20. Hojas técnicas de productos evaluados.