



CONCEPTOS ESENCIALES DEL GALVANIZADO

Compilado y editado por TS & Associates para la ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE Zinc (IZA)



Septiembre de 2020

Gentileza: Asociación Internacional de Zinc (IZA)



International
Zinc Association
Zinc...essential for modern life

PREFACIO

El objetivo principal del Galvanizado por Inmersión en Caliente es proteger de la corrosión al acero en cualquiera de sus formas, incluidas las armaduras de refuerzo para concreto. Es una manera económica y eficiente de extender su vida útil en la mayoría de los ambientes.

El ZINC es el elemento clave en el Galvanizado por Inmersión en Caliente. También se utiliza en la fabricación de pinturas ricas en Zinc y, donde el Galvanizado no es posible, en revestimientos protectores anticorrosivos aplicados mediante proyección térmica.

La ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE ZINC (IZA), con la asistencia de Mr. Terry Smith de TSA (Terry Smith & Associates), exdirector de la Asociación de Galvanizadores por Inmersión Caliente de Sudáfrica (HDGASA), ha elaborado esta guía sobre los CONCEPTOS ESENCIALES DEL GALVANIZADO para poner al alcance de ingenieros consultores, diseñadores y arquitectos los principios fundamentales de este tratamiento eficiente y rentable.

Aunque esta compilación de artículos abarca la mayoría de los aspectos del proceso, no pretende ser una guía completa, pero constituye una selección de los artículos más explicativos publicados en los últimos 15 años, cuyos contenidos continúan vigentes.

Agradecemos a la Asociación de Galvanizadores por Inmersión Caliente de Sudáfrica (HDGASA) por este conjunto de artículos y expresamos nuestro reconocimiento por su contribución.

Para obtener más orientación o información sobre el uso del Zinc en la protección contra la corrosión, por favor contacte a la Asociación Internacional de Zinc (IZA)

Oficinas IZA África

Zinc@iafrica.com

Mayo de 2020



International
Zinc Association

Zinc...essential for modern life

CONTENIDO

ESPECIFICACIONES Y NORMAS

- 2 Desde la decisión hasta la recepción
- 5 Asegúrese de que la especificación sea correcta
- 8 La Norma de Galvanizado “relegada”
- 10 Galvanizado por Inmersión en Caliente para fines generales y arquitectónicos
- 13 Perfiles de soporte de señalética galvanizados en caliente, en continuo o por lotes (galvanizado general)

NOCIONES SOBRE LOS REVESTIMIENTOS METÁLICOS DE ZINC

- 14 Precauciones a tener en cuenta en aceros con alto contenido de fósforo
- 16 Limpieza abrasiva para diferentes impurezas
- 18 Enmascarado: Todo sobre Galvastop
- 19 ¿Cuándo una protección es catódica y cuándo no lo es?
- 20 Imprimaciones a base de Zinc: Visión General

PINTURA SOBRE GALVANIZADO. SISTEMA DÚPLEX

- 23 Control eficiente de la corrosión
- 25 Cómo pintar sobre acero galvanizado por inmersión en caliente
- 27 Revestimiento Dúplex. Eficiente al cabo de 14 años

SINGULARIDADES TÉCNICAS DEL ZINC METÁLICO

- 29 Diferencia entre fragilización por hidrógeno y fragilización por trabajo en frío
- 31 Fragilización por hidrógeno en elementos de fijación. Puesta en contexto

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS METÁLICOS DE ZINC

- 34 Chimeneas de la central eléctrica de Medupi: Proyección térmica de zinc metálico sobre vigas de alma llena

GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN APLICACIONES MINERAS

- 36 Galvanizado por Inmersión en Caliente. Usos en minería en Sudáfrica

APLICACIONES EXITOSAS DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE / SISTEMA DÚPLEX

- 47 Construcción del Centro de Control de Radio del Servicio de Policía de Sudáfrica, Port Elizabeth, Sudáfrica
- 49 House Taylor, Ballito Bay, KwaZulu Natal, Sudáfrica: un compromiso con el acero galvanizado por inmersión en caliente
- 51 Edificios de la sede de Mobile Telephone Networks (MTN), Johannesburgo, Sudáfrica: Fases 1 y 2
- 52 Biblioteca Nacional, Pretoria, Sudáfrica
- 53 House Rooi Els, Provincia del Cabo, Sudáfrica: un compromiso con el sistema Dúplex
- 56 Reconocimientos

S1 - ESPECIFICACIONES Y NORMAS

DESDE LA DECISIÓN HASTA LA RECEPCIÓN (2013)

Desde la decisión del del usuario final -o especificador- de elegir el Galvanizado por Inmersión en Caliente como revestimiento para el control de la corrosión, hasta la recepción de los componentes terminados in situ. Experiencia general.

Este trabajo fue presentado por Terry Smith en un seminario local en Johannesburgo hace varios años y nunca se publicó. Su contenido sigue siendo extremadamente relevante para la situación actual de la industria del Galvanizado.

Aunque la HDGASA tiene muchos objetivos y actividades estratégicas, las tres actividades tratadas en este artículo son:

- Promoción del Galvanizado por Inmersión en Caliente y el sistema Dúplex, cuando son aplicables.
- Participación, en representación de los usuarios finales, en las etapas de diseño de los principales proyectos en desarrollo.
- Asistencia a sus miembros y a usuarios finales en el aseguramiento de la calidad del revestimiento, particularmente en casos de percepciones erróneas sobre este.

INTRODUCCIÓN

Pasos que los especificadores y galvanizadores deben seguir cuando se selecciona el Galvanizado por Inmersión en Caliente como sistema de control de la corrosión para un nuevo proyecto de envergadura:

En base a recomendaciones de otros usuarios finales o especificadores, o en experiencias anteriores de proyectos exitosos, la elección del Galvanizado por Inmersión en Caliente para la protección de componentes estructurales y otras piezas de acero en proyectos nuevos puede ser conveniente por varias razones.

Uno de los principales beneficios del Galvanizado por Inmersión en Caliente es la prolongación del periodo libre de mantenimiento, economizando costos importantes en la reposición de los revestimientos a lo largo de la vida de servicio del proyecto.

El Galvanizado por Inmersión en Caliente ofrece muy buenos resultados en la mayoría de las atmósferas. Ciertas imperfecciones en el revestimiento, como grumos, corridas, protuberancias menores, exceso de escoria, etc. no reducirán necesariamente el rendimiento de la protección. Sin embargo, para evitar estas imperfecciones estéticamente inaceptables, el especificador y el galvanizador deben seguir una serie de pasos que garanticen un mayor grado de control de calidad y la satisfacción total del cliente al finalizar el proyecto.

Exponemos tres ejemplos de proyectos en Sudáfrica que, analizados desde la perspectiva de su gestión, han logrado un éxito superior al promedio:

- Mina de Platino Bofakeng Rasimoni - Anglo Platinum - Aproximadamente 1.000 toneladas
- Oficina central de Mobile Telephone Networks (MTN) - Fase 2 - Aurecon - 500 toneladas (página 51)
- Biblioteca Nacional - Jeremie Malan Architects - Aproximadamente 600 toneladas (página 52)

Los tres proyectos tuvieron participaciones del galvanizador superiores a la media en las primeras etapas de planificación.

La decisión del usuario final o del especificador se apoyó en:

- Análisis de experiencias de proyectos previos.
- Referencias de colegas o autoridades.
- Correcto análisis de las condiciones ambientales.
- Determinación precisa de los requisitos de vida útil.
- Discusión con un galvanizador de buenas referencias.

¡EL CONTROL DE LA CORROSIÓN NO DEBE SER UNA DECISIÓN DE ÚLTIMO MOMENTO!

Próximo paso:



		Correcto	Incorrecto
1	Comprobar las condiciones del entorno	Consultar norma ISO 14713:1 o, en ambientes muy agresivos y en caso de estar disponibles, evaluar el espesor residual del revestimiento de Galvanizado por Inmersión en Caliente en componentes instalados en sitios adyacentes para analizar su rendimiento en relación al tiempo de exposición	Asumir que el Galvanizado por Inmersión en Caliente tendrá el mismo desempeño en todos los entornos, incluidos condiciones marinas, entornos con concentración de SO ₂ , sumergido en aguas ácidas o enterrado en suelos ácidos
2	Proporcionar normas técnicas y/o especificaciones correctas	ISO 1461 - Revestimiento de Galvanización en Caliente sobre piezas de hierro y acero. EN 10240 - Especificaciones para Revestimientos de Galvanizado en Caliente para tubos de acero. ISO 3575/4998 - Galvanizado Continuo por Inmersión en Caliente de chapa. Especificar tipo de revestimiento. ISO 675/935 - Galvanizado Continuo por Inmersión en Caliente de alambres. Especificar tipo de revestimiento.	Especificar "Galvanizado" únicamente, o hacer referencia a normativa obsoleta, como "Electrogalvanizado", "Galvanizado en Frío" o "Pregalvanizado".
3	Comunicar Especificaciones del Proyecto (PS) y Plan de Calidad (QP) Norma ISO 1461 Anexo A. Esta información será suministrada por el comprador	ISO 1461 - Anexo A. • Especificar la composición del acero. • Identificar superficies significativas. • Proveer una muestra u otro medio para establecer requisitos de acabado. • Indicar cualquier pretratamiento específico. • Indicar cualquier espesor de revestimiento específico. • Indicar cualquier postratamiento específico. • Indicar requisitos de inspección. • Si se requiere un certificado de conformidad, tener en cuenta que sólo es aplicable si el acero ha sido fabricado de acuerdo con ISO 14713:2. • Especificar método de reparación si fuera necesario. • Especificar el material a utilizar en caso de reparación superficie máxima permitida. • Proyecto arquitectónico o Dúplex: especificar tipo de embalaje si correspondiese.	No aplica
4	Negociar el precio del Galvanizado para cada proyecto	• Asegurarse que el galvanizador tenga buenas referencias y/o sea miembro de la institución local • Asegurarse que el galvanizador conozca los requisitos mencionados en los puntos 2 y 3. • Discutir los tamaños y geometría de los componentes que pueden procesarse y, si fuese necesario, ajustarlos a tamaños modulares.	Elegir el galvanizador por amistad o por razones de logística, sin tener en cuenta el tamaño adecuado del crisol. Elegir por el precio más bajo.
5	Formalizar el contrato	• Informar al galvanizador seleccionado • El Galvanizador deberá asesorar al cliente sobre los requisitos de fabricación de acuerdo con ISO 14713:2 y también lo asistirá en la inspección previa de los componentes, antes enviarlos a planta. • Si fuese necesario, involucrar a la institución local o a un tercero capacitado para una inspección • Discutir el desarrollo, programa de entrega y tamaño final del proyecto. • Confirmar los requisitos específicos del proyecto.	Comenzar la fabricación sin tener en cuenta los requisitos de ISO 14713:2 o sin una referencia sobre los requisitos para el Galvanizado por Inmersión en Caliente.
6	Enviar los componentes a planta	Programar la recepción y devolución de los componentes galvanizados para asegurar un desarrollo óptimo del proyecto y optimizar la logística. Inspeccionar los componentes antes del proceso de galvanizado, si no se completó en la etapa 5.	Retrasos en la fabricación no informados al galvanizador. Drenaje y ventilación inadecuados, agujeros de llenado insuficientes, escoria de soldadura, porosidad de soldadura, etc. son motivos de rechazo por parte del galvanizador. Los componentes se retienen en cuarentena hasta informar al cliente y resolver el problema. Ocasiona demoras al proyecto.

7	El galvanizador experimenta demoras por problemas técnicos	Informar al cliente tan pronto sea posible y renegociar el programa de entregas.	El galvanizador no informa a tiempo. Cuando el cliente se comunica en la fecha pactada para la entrega, se le informa sobre la demora.
8	Inspección y certificación del revestimiento	Si se gestionó de acuerdo al punto 3, el galvanizador informará al cliente que los componentes están listos para inspección o han sido inspeccionados (según sea el caso) y, si es requerido, emitirá el correspondiente certificado de conformidad.	No se organiza inspección en planta. El galvanizador dispone el transporte y entrega. Si la certificación se solicita algún tiempo después de la entrega de componentes en obra, puede ocurrir que se retenga el pago hasta la emisión del certificado.
9	Los componentes se cargan en el transporte	Particularmente para entregas distantes: • Asegurar que el embalaje esté completo: consultar la Especificación del Proyecto (PS). • Asegurar que los componentes tengan un material separador adecuado y eficiente para evitar daños por rozamiento, particularmente en bridas y uniones de tuberías. • Asegurar que los componentes estén bien sujetos en el transporte, utilizando lingas suaves. No son recomendables cadenas o cables metálicos sin revestimiento.	Los componentes se cargan sobre el transporte sin material de protección de estiba, con la posibilidad de daños durante el traslado.
10	Llegada de los componentes terminados y descarga en obra	• Prever espacio suficiente dedicado al acopio. • Prever espacio suficiente para facilitar la descarga. • Estibar correctamente, evitando suelos húmedos. • Cuando se estiban, los componentes estarán inclinados respecto al plano del suelo, para evitar la acumulación del agua de lluvia, reduciendo la aparición de óxido blanco en atmósferas húmedas. • Tener preparado un mecanismo o equipo adecuado para la descarga de los componentes.	• Espacio de acopio insuficiente • Los componentes deben apilarse unos sobre otros. • Aumenta el potencial de daños al revestimiento. • Si la inspección del revestimiento se realiza en el sitio, puede resultar en una no conformidad. • Si esto ocurre, se requiere que el personal de control de calidad del galvanizador realice la inspección en el sitio. • En estos casos, se requiere la asistencia de un inspector de la institución local, o de un tercero certificado y con buenas referencias.
11	Conformidad o discrepancia entre el fabricante, el galvanizador y el usuario final	• El galvanizador emite un Certificado de Calidad. • El material se entrega a tiempo. • Sin demoras en el pago. • EL SERVICIO Y ENTREGA DEL FABRICANTE Y EL GALVANIZADOR SON ELOGIADOS POR EL CLIENTE!	• Diferencias por daños o defectos en el revestimiento. • Entrega fuera de término. • Retrasos en la finalización del proyecto = sanciones. • Pago retenido. • LA INDUSTRIA DEL GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE RECIBE UNA MALA REPUTACION!
12	Resumen	• Comprender el medio ambiente: consultar la norma ISO 14713:1. • Citar las especificaciones correctas, informar las Especificaciones del Proyecto (PS) y Plan de Calidad (QP). • Discutir el precio con el galvanizador y confirmarlo cuando el pedido esté asegurado. • Programar el envío del material y su posterior recepción. • Comunicar el progreso de los trabajos en ambas direcciones. • Realizar una inspección del revestimiento en el fabricante o en la planta de galvanizado. El inspector deberá estar debidamente calificado. Se emitirá un certificado de conformidad. • Embalaje (arquitectónico / Dúplex) • Utilizar material de separación durante el transporte. • Disponer de espacio apropiado para descarga y estiba.	

ASEGÚRESE QUE LAS ESPECIFICACIONES SEAN CORRECTAS (2011)

Casuística: se requirió la intervención de la HDGASA para analizar el revestimiento de zinc de bajo espesor en un tubo que se suponía había sido Galvanizado por Inmersión en Caliente General.

REVESTIMIENTO DE ZINC DE BAJO ESPESOR EN TUBOS

En base a las mediciones de espesor de revestimiento tomadas tanto dentro como fuera de los tubos, resultó evidente que los tubos en cuestión se habían fabricado a partir de chapa galvanizada. El laminado podría no haber sido fabricado en Sudáfrica y las especificaciones serían entonces diferente al rango del producto local. Sin embargo, el siguiente caso proporciona un ejemplo de este tipo de revestimientos y su espesor nominal.

La chapa de acero electrocincada, producida en Sudáfrica por ArcelorMittal, consiste en un sustrato de acero laminado en frío, recubierto con Zinc por deposición electrolítica en una línea continua. El electrocincado permite un mayor control en el espesor de revestimiento y asimismo admite espesores de revestimiento diferentes en cada cara de la hoja. Se ofrece una gama de designaciones de revestimiento con un espesor máximo equivalente a la clase Z100 (7.14 μm espesor de revestimiento nominal) de chapa Galvanizada en Caliente en continuo.

La unión del revestimiento al acero es puramente mecánica y, por lo tanto, no existen las fases de aleación de hierro/zinc.

La Tabla 1 de espesores de revestimientos de zinc se tomó de la Ficha Técnica. Siendo difícil determinar la designación exacta del revestimiento en cada caso, sólo se obtendrían resultados precisos sometiendo las muestras a un ensayo de espesor por decapado químico (gravimétrico) como se especifica en la norma ISO 1460.

TUBOS GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE

En este sistema los tubos se galvanizan por inmersión en caliente en una línea de producción semiautomática. En caso de que no fuera necesario un acabado suave en la cara exterior y cuando se requiera un espesor de revestimiento adicional, los tubos podrán galvanizarse por inmersión en caliente general de acuerdo con ISO 1461.

Tabla 1: Revestimientos de zinc tomados de la Ficha Técnica.

Inmediatamente después de retirarse del baño de zinc fundido, el exceso de zinc en la cara externa se quita pasando el tubo a través de un anillo de aire de dimensiones apropiadas, y en la parte interna mediante la inyección de vapor recalentado y/o mandril mecánico.

Para galvanizar en caliente de esta manera, el tubo no podrá tener bridas y deben respetarse limitaciones en diámetro y longitud.

En Sudáfrica el galvanizado de tubos por inmersión en caliente se realiza de acuerdo con EN 10240, siendo generalmente el espesor mínimo de revestimiento es de 55 μm .

En el revestimiento de tubos por este método se forma una serie de capas o fases de aleación hierro/zinc a partir del acero base, terminando la fase externa en una capa de zinc puro.



Foto 1: Tubo galvanizado por inmersión en caliente y tubo con revestimiento de bajo espesor

Designación del revestimiento	Descripción Espesor por cara	Espesor nominal de revestimiento por lado (μm)	Masa nominal del revestimiento por unidad de área por lado (g/m^2)	Masa mínima de revestimiento por unidad de área por lado (g/m^2)
ZE 25 / 25	Revestimiento normal	2.5 / 2.5	18 / 18	12 / 12
ZE 50 / 50	Revestimiento pesado	5.0 / 5.0	36 / 36	28 / 28
ZE 75 / 75		7.5 / 7.5	54 / 54	47 / 47
ZE 50 / 0	Revestimiento de una cara	5.0 / 0.0	36 / 0	28 / 0
ZE 75 / 0		7.5 / 0.0	54 / 0	47 / 0
ZE 100 / 0		10.0 / 0.0	72 / 0	65 / 0



2



3



6



4



5



7



8



9



10



11



12

Fotos 2 - 5: Espesor del revestimiento superior externo (22,3 μm), espesor del revestimiento inferior externo (13,9 μm), espesor del revestimiento inferior interno (4,9 μm) espesor del revestimiento superior interno (10,1 μm).
Foto 6: Decoloración en ambos extremos del tubo y en cordón interior del área soldada por arco. El revestimiento de zinc tiene la capacidad de proteger acero actuando como barrera y como metal de sacrificio. Sin embargo, la vida útil del revestimiento de zinc está determinada en ambos casos por su espesor y por el entorno al que se expondrá. (Ver la pérdida típica de revestimiento de zinc en relación con el entorno en la Tabla 2). **Fotos 7 - 9:** Espesor del revestimiento galvanizado por inmersión en caliente según EN 10240 (91,8; 93,8 y 71,0 μm respectivamente) en el lote inferior de tubos, en comparación con los de las fotos 2 a 5. **Fotos 10-11:** Espesor del revestimiento galvanizado por inmersión en caliente en los puntales (59,2 y 74,6 μm). Estos valores son normales de acuerdo con la norma ISO 1461. **Foto 12:** Puntales galvanizados por inmersión en caliente según ISO 1461.

PUNTALES GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE

Los componentes previamente limpios se cuelgan de un dispositivo especial y se sumergen en un baño de zinc fundido a aproximadamente 450°C.

Se produce una reacción metalúrgica o química entre el acero y el zinc. El revestimiento resultante consiste en una serie de capas de aleación hierro/zinc formadas a partir del acero base, terminando la fase externa en una capa de zinc puro.

Varios elementos influyen en el espesor y apariencia del revestimiento. La composición química del acero, especialmente su contenido de silicio y fósforo tienen un especial aporte. El espesor de acero y la rugosidad de la superficie también tienen una relevancia importante.

La norma ISO 1461:2009 establece que, para aceros de entre 3 mm y 6 mm de espesor, el espesor de revestimiento local mínimo será de 55 µm, con una media de 70 µm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Galvanizado por Inmersión en Caliente es conocido por sus propiedades en el control de la corrosión y, si se usa adecuadamente, proporcionará un periodo razonablemente extendido en la vida de servicio de los componentes. La vida útil

de cualquier revestimiento de zinc metálico es proporcional a su espesor en un ambiente determinado. Es lógico, por lo tanto, que cuanto más grueso sea el revestimiento, mayor será su vida útil.

Por lo tanto, en este caso particular, para equiparar la vida de servicio del resto de los componentes, se recomienda reemplazar los tubos con revestimiento de zinc de bajo espesor por sus equivalentes galvanizados por inmersión en caliente o, alternativamente, quitar el revestimiento fino y regalvanizar los tubos de acuerdo con la norma ISO 1461.

La *Tabla 2* proporciona una guía sobre la pérdida esperable en el revestimiento de zinc para un determinado entorno y se basa en la *Tabla 5* tomada de ISO 9223 o ISO 14713:1, *Corrosión de metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas - Clasificación*.

En Ciudad del Cabo, el área de V&A Waterfront en las afueras de Table Bay posee una atmósfera C3/C4, mientras que desde Glencairn, al oeste de Somerset West, frente a la costa de False Bay hasta 3 km desde el mar, predomina un franco ambiente C5. Estas condiciones son causadas principalmente por los vientos del sudeste, la elevada acción de las olas y el terreno llano.

Tabla 2: indicación de la pérdida de revestimiento de zinc para un determinado entorno.

1	2	3	4	5	6	7
				Vida útil libre de mantenimiento (años)		
Corrosión	Descripción del entorno	Velocidad de corrosión (pérdida promedio de acero en µm/año)	Velocidad de corrosión (pérdida promedio de Zinc en µm/año)	Chapa galvanizada en continuo - Revestimiento Z275 (±20µm)	Galvanizado por Inmersión en Caliente General (85µm) Espesor del acero >6mm	Sistema DÚPLEX (Galvanizado por Inmersión en Caliente + sistema de pintura apropiado)
C1	Interior: Seco	≤ 1,3	≤ 0,1	> 50	> 50 (#1)	La protección contra la corrosión se mantiene sin requerir mantenimiento (#2)
C2	Interior: condensación ocasional. Exterior: zona rural continental	> 1,3 < 25	0,1 a 0,7	> 40	> 50 (#1)	
C3	Interior: humedad elevada, baja polución. Exterior: urbano continental, costero de baja salinidad	> 25 < 50	0,7 a 2,1	10 a 40	> 40	
C4	Interior: piscinas, plantas químicas, etc. Exterior: industrial continental o urbano costero	> 50 < 80	2,1 a 4,2	5 a 10	20 a 40	La vida útil del sistema DÚPLEX es igual a la vida combinada del Galvanizado por Inmersión en Caliente más la pintura, por un factor mínimo de 1,5
C5-I/C5-M	Exterior: industrial con alta humedad o costero de alta salinidad	> 80 < 200	4,2 a 8,4	2 a 5	10 a 20	

1 Aunque matemáticamente incorrecto (espesor del recubrimiento dividido por velocidad de corrosión), la vida libre de mantenimiento indicada en la columna 6, a los fines prácticos, se redujo a un máximo de 50 años. Las especificaciones generales de Galvanizado por Inmersión en Caliente establecen la medición local mínima y la media de espesores de recubrimiento. El espesor de recubrimiento realmente alcanzado varía, de acuerdo a la composición del acero, entre el mínimo y hasta un 100% mayor. Como las predicciones de la esperanza de vida normalmente se basan en el espesor mínimo del recubrimiento, generalmente resultan conservadoras.

2 También puede especificarse un sistema DÚPLEX para proporcionar un color por razones estéticas.

LA NORMA DE GALVANIZADO “RELEGADA” (2011)

ISO 14713:2009 - Revestimientos de zinc. Directrices y recomendaciones para la protección de estructuras de hierro y acero contra la corrosión

En este artículo se tratan sólo las secciones 1 y 2, de reciente publicación, incluyendo su alcance, títulos de cada sección y ocasionalmente copia amplia o parcial de dichas secciones.

SECCIÓN 1: PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.

(Por razones de espacio, el artículo sólo plantea cuestiones relevantes para los revestimientos de Galvanizado por Inmersión en Caliente y Revestimiento por Proyección Térmica).

1. Alcance

Esta sección de la norma proporciona pautas y recomendaciones sobre los principios generales de diseño recomendados para artículos que se revisten con zinc como método de protección contra la corrosión, y el nivel de resistencia a la corrosión proporcionado por dichos revestimientos ante la exposición a una variedad de ambientes.

2. Normas de referencia

3. Términos y definiciones

4. Materiales

4.1 Sustratos de hierro y acero.

4.2 Revestimientos de zinc.

5. Elección del revestimiento de Zinc

6. Requisitos de diseño

6.1. Principios generales de diseño para prevenir la corrosión.

6.2. Diseño para la aplicación de los diferentes procesos de revestimiento de Zinc.

6.3. Tubos y secciones huecas.

6.3.1. General.

6.3.2. Protección interna y externa contra la corrosión

6.4. Uniones.

6.4.1. Elementos de fijación galvanizados por inmersión en caliente o revestidos por proyección térmica.

6.4.2. Consideraciones sobre soldaduras en relación con los revestimientos.

6.4.3. Soldadura reforzada o soldadura estándar.

6.5. Sistema DÚPLEX.

6.6. Mantenimiento.

7. La corrosión en diferentes ambientes

7.1. Exposición a la atmósfera, incluyendo la Tabla 1, que establece categorías de corrosividad en base a las tasas de corrosión del zinc. La Tabla 2 indica la vida útil esperable hasta el primer mantenimiento para un rango determinado de categorías.

7.2. Exposición a suelos, incluida la Tabla 2, que detalla los diferentes revestimientos, sus espesores y durabilidad de acuerdo con el tipo de revestimiento.

7.3. Exposición al agua.

7.4. Abrasión.

7.5. Exposición a productos químicos.

7.6. Temperaturas elevadas.

7.7. Contacto con hormigón.

7.8. Contacto con madera.

7.9. Contacto bimetalico, incluida la Tabla 3 (serie galvánica de metales) y la Tabla 4 (corrosión esperable entre zinc y otros metales).

8. Métodos de ensayo acelerado aplicados a revestimientos con Zinc

SECCIÓN 2: GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE.

1. Alcance

Esta parte de la norma ISO 14713 proporciona pautas y recomendaciones sobre los principios generales de diseño que deben tenerse en cuenta en la fabricación de componentes que serán galvanizados por inmersión en caliente.

La protección que ofrece el revestimiento Galvanizado por Inmersión en Caliente dependerá del método de aplicación del revestimiento, el diseño del componente y el entorno específico a que será expuesto.

2. Normas de referencia

3. Términos y definiciones

4. Diseño para Galvanizado por Inmersión en Caliente

4.1. Galvanizado General.

En el diseño de cualquier componente que requiera revestimiento es esencial tener en cuenta no sólo la función de ese artículo y su método de fabricación sino también las limitaciones propias del sistema de revestimiento. El anexo A ilustra características de diseño importantes, algunas de las cuales son específicas del Galvanizado por Inmersión en Caliente. Ciertas tensiones internas en los artículos a galvanizar serán liberadas durante el proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente y esto puede causar deformación o daño del artículo tratado. Estas tensiones internas tienen origen en las etapas finales de fabricación, como conformado en frío, soldadura y tensiones residuales heredadas del laminador, etc.

El comprador deberá buscar el consejo del galvanizador o su organización local previo al diseño y fabricación.

El comprador debe conocer la diferencia entre los dos tipos distintos de Galvanizado por Inmersión en Caliente: general o por lotes, aplicado después de la fabricación, o Galvanizado Continuo por Inmersión en Caliente, que abarca varias clases de revestimientos.

4.2. Preparación de la superficie.

4.3. Consideraciones de diseño.

4.4. Características de diseño.

En el **Anexo A** se muestran las características de diseño que deben respetarse para artículos que serán galvanizados por inmersión en caliente. **Advertencia:** es esencial evitar los compartimentos estancos, o proveer adecuada ventilación. De lo contrario existe un grave riesgo de explosión que puede causar lesiones

graves o muerte a los operarios de planta. Este aspecto del diseño debe considerarse muy especialmente (...).

4.5. Tolerancias.

5. Diseño para almacenaje y transporte

Los componentes galvanizados por inmersión en caliente deben estibarse de tal forma que puedan manipularse, almacenarse y transportarse de forma segura. Al momento de ordenar el trabajo, el comprador deberá comunicar al galvanizador la existencia de cualquier necesidad específica para minimizar el desarrollo de óxido blanco o tinción por almacenamiento en condiciones de humedad (principalmente óxido de zinc básico o hidróxido de zinc formado en la superficie del material almacenado en condiciones húmedas). El comprador debe comunicar estos requisitos al galvanizador en el momento de realizar el pedido para acordar cualquier medida de control relevante. Tales medidas podrían incluir (...).

6. Efectos de la condición de los componentes sobre la calidad del Galvanizado por Inmersión en caliente

6.1. General.

6.1.1. Composición del material, incluida la Tabla 1 sobre composición química preferible del acero y sus efectos probables en las características finales del revestimiento.

6.1.2. Elementos de fundición.

6.2. Estado de la superficie.

La superficie del metal base debe estar limpia antes de su inmersión en zinc fundido. El desengrase y decapado en ácido son los métodos más recomendados para limpiar la superficie. Debe evitarse el decapado excesivo. La contaminación superficial que no pueda eliminarse mediante decapado, como películas de carbono (residuos de aceite de laminación), otros aceites, grasa, pintura de base oleosa, escoria de soldadura, etiquetas, pegamento residual de etiquetas, materiales de marcado, aceites de fabricación e impurezas similares, deberán retirarse antes del decapado para permitir un uso más eficiente de los insumos de pretratamiento.

El comprador es responsable de eliminar tales contaminaciones, a menos que se hayan acordado otras alternativas con el galvanizador.

6.3. Influencia de la rugosidad de la superficie del acero en el espesor de revestimiento de Galvanizado por Inmersión en Caliente.

6.4. Influencia de los procesos de corte térmico.

6.5. Efecto de tensiones internas en el acero base.

6.5.1. General.

El proceso de galvanizado por inmersión en caliente implica la inmersión de los componentes de acero limpios y pretratados en un baño de zinc fundido o aleación de zinc a una temperatura de 450°C aproximadamente, y su retiro cuando se completa la reacción metalúrgica que desarrolla el revestimiento. Durante el proceso de inmersión pueden ocurrir relevos de tensiones considerables y/o desequilibradas en los componentes.

El galvanizador no puede responsabilizarse por deformaciones durante el galvanizado, asociadas

a la producción del acero (como el estado específico de estrés en el componente al momento de la inmersión, que no está bajo su control) a menos que la distorsión ocurra como consecuencia de un manejo inapropiado (ej. daño mecánico o colgado incorrecto del componente).

6.5.2. Grietas por distorsión.

6.5.3. Fragilización por hidrógeno.

6.5.4. Fragilización por trabajo en frío.

6.5.5. Grietas por metal líquido (LMAC) o fragilización por metal líquido (LME).

6.5.6. Objetos grandes o aceros gruesos.

6.5.7. Práctica del Galvanizado por Inmersión en Caliente.

7. Efecto del proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente sobre los componentes.

7.1. Tolerancias dimensionales para hilos de rosca hermanados.

7.2. Efectos del calor del proceso.

8. Postratamientos.

Para retardar la formación de manchas en la superficie por almacenamiento húmedo, puede aplicarse un tratamiento superficial adecuado después del Galvanizado por Inmersión en Caliente. Si van a aplicarse pinturas líquidas o en polvo después de galvanizar, el comprador deberá informar al galvanizador antes de que el artículo sea galvanizado. Para aplicación de sistemas Dúplex (...).

ANEXO A - Contiene una serie de bocetos y notas sobre diseños recomendados en componentes para Galvanizado por Inmersión en Caliente.

Esta norma es altamente recomendada para cualquier especificador o usuario final que participe en el diseño, fabricación y detalles estéticos de artículos que serán galvanizados por inmersión en caliente.



GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN PROYECTOS GENERALES Y ARQUITECTÓNICOS (2012)

El logro de un revestimiento galvanizado por inmersión en caliente de calidad para uso general y arquitectónico depende de muchos factores, algunos controlables y otros no. Esta lista de verificación aborda aquellos que puede controlar el diseñador y los que corresponderán al galvanizador.

- GA - Calidad de Galvanizado Arquitectónico, adicional a ISO 1461. Consultar Anexo A.
- GG - Galvanizado por Inmersión en Caliente General según ISO 1461. Consultar anexo A.
- S/N - ¿Se logró este criterio, sí / no?

Ayudas de diseño

1. Gráfico Mural SPG - "Protección del acero mediante Galvanizado por Inmersión en Caliente y Sistema Dúplex" o "Diseño para Galvanizado por Inmersión en Caliente". Comuníquese con su organización local para obtener un ejemplar. Consulte también la norma ISO 14713-2.

Sistema Dúplex

2. La aplicación de pintura sobre superficies galvanizadas se ha decidido históricamente por razones estéticas. Para instalaciones de servicio pesado, existe evidencia de que la utilización de revestimientos finales aplicados adecuadamente pueden aumentar la vida libre de mantenimiento de un elemento estructural entre un 200 y 400% sobre la de un elemento similar pintado o galvanizado, en el mismo entorno. Combinando Galvanizado por Inmersión en Caliente de 100 µm de espesor, con revestimientos de pintura industrial de alta resistencia que típicamente son de al menos 100 µm de espesor, se consigue un revestimiento que ofrece verdadero mantenimiento cero, asegurando una vida útil libre de corrosión de más de 50 años en los ambientes más agresivos. La aplicación de un Sistema Dúplex generalmente implica dos partes: un galvanizador y un taller de pintura. Por este motivo, el galvanizador no tendría influencia sobre la aplicación de la pintura y el pintor no conocería las técnicas empleadas por el galvanizador, que podrían afectar la calidad del sistema Dúplex. Por lo tanto, se recomienda que ambas partes estén involucradas desde el inicio del proyecto y compartan la responsabilidad sobre la eficacia del revestimiento. Hay pocos galvanizadores que realizan con éxito ambas operaciones. La preparación de las superficies galvanizadas para pintarlas, puede incluir desengrasado, decapado o limpieza mecánica. El método más eficiente es la limpieza mecánica. Su propósito es eliminar la película de óxido y contaminación superficial y pulir ligeramente la superficie con una reducción mínima en el espesor del revestimiento galvanizado (no más de 10 µm). Las siguientes recomendaciones son extremadamente importantes:

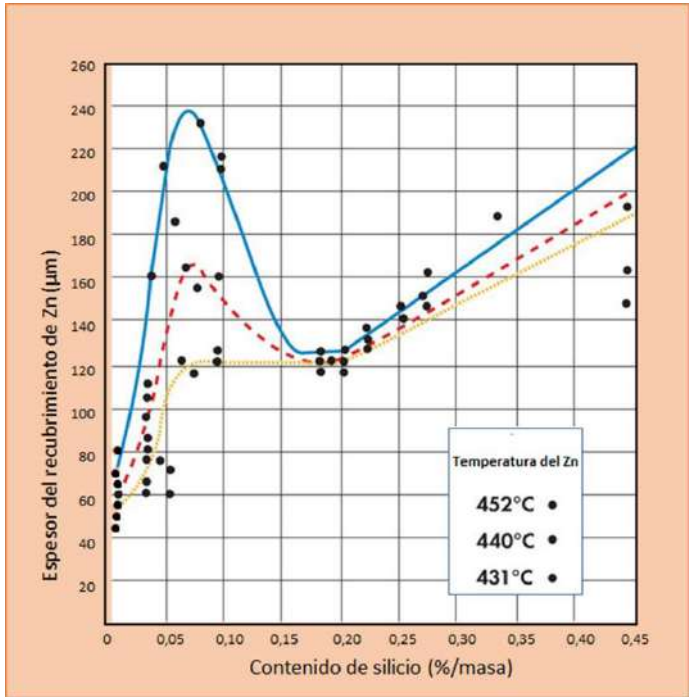
- Presión de trabajo no mayor a 300 kPa.
- Grado abrasivo 0,2 – 0,5mm.
- Ángulo de incidencia 45°
- Distancia desde la superficie 300-400 mm.
- Tipo de boquilla: venturi de un mínimo de 10 mm.

Para más información, por favor consulte con su organización local.

Plazos de entrega

3. Para contratos medianos a grandes, la participación entre el galvanizador, el fabricante y el usuario final es sustancial para garantizar el cumplimiento de la programación y la garantía de calidad del revestimiento. El galvanizado por inmersión en caliente es normalmente el proceso final después de fabricación y antes de la entrega y el montaje. Si los tiempos del Galvanizado por Inmersión en Caliente y su posterior inspección no se incluyen en el programa general, podrían producirse retrasos en la etapa de obra, con consecuencias en el costo final.

ACEROS ADECUADOS PARA GALVANIZACIÓN EN CALIENTE - TABLA 1:	
Aplicaciones industriales y mineras	
Silicio (Si) - 0.15 a 0.3% Máx.	
Fósforo (P) - 0.02% Máx.	
Aplicaciones arquitectónicas	
Silicio (Si) - 0.03 Max con Fósforo (P) - ≤ 0.01%	
ó	
Silicio (Si) - 0.15 a 0.25% con Fósforo (P) - ≤ 0.02%	



La curva de Sandelin relaciona la reactividad del acero con su contenido de silicio.

Certificado de conformidad

4. Se requiere un Certificado de Conformidad en los términos de la norma ISO 10474 u otro Sistema de Gestión de Calidad como ISO 9001, dependiendo del galvanizador, para garantizar que sea este quien seleccione la muestra para la inspección, y no terceras partes, que no necesariamente entienden las consecuencias de una limpieza excesiva.

Acero calmado con aluminio y acero calmado con silicio

5. Los tubos estructurales o de conducción y la mayoría de las placas de espesor de 4.5 mm o menos, se fabrican generalmente con acero calmado con aluminio, mientras que el acero estructural laminado en caliente se calma con silicio.

Nota: Esta lista de verificación es meramente orientativa y, aunque bastante completa, podría requerir información adicional.

Nº	CRITERIOS DE LOS ESPECIFICADORES Y DISEÑADORES: AG	GA	GG	S / N
1	Discutir los requisitos con los galvanizadores seleccionados antes de comenzar el diseño.	P1	P1	
2	El especificador o diseñador debe garantizar que todos los contratistas estén fehacientemente informados sobre los requisitos del Galvanizado por Inmersión en Caliente Arquitectónico antes de la presentación de las ofertas en una licitación.	P1		
3	Elegir un galvanizador con referencias o solicitar una recomendación a su organización local.	P1	P1	
4	Antes de confirmar la orden, informar al galvanizador sobre los requisitos del proyecto. Acompañar un boceto o muestra. Podría requerir discusión adicional con el galvanizador.	P1		
5	Utilizar el gráfico mural SPG de su organización local: "Diseño para Galvanizado por Inmersión en Caliente" más los requisitos de diseño de la norma ISO 14713: 2. #1	P1	P1	
6	Elegir el tipo de acero adecuado para cada componente y entorno. Consultar la Tabla 1. Si fuera posible, todas las partes relacionadas con el proyecto utilizarán acero del mismo proveedor o de proveedores especificados. Solicitar un certificado de análisis químico del acero. Entregar copia al galvanizador. #5	P1	P1	
7	Confirmar que los componentes puedan sumergirse en una única inmersión. Si fuera posible, fabricarlos en longitudes modulares. Alternativamente, discutir con el galvanizador las implicancias de una doble inmersión. También puede consultar a la su organización local.	P2	P2	
8	Optimizar el tamaño de los orificios de llenado, drenaje y ventilación. Consultar el gráfico mural SPG de su organización local o la norma ISO 14713:2. #1	P1	P1	
9	Optimizar la posición de los orificios de llenado, drenaje y ventilación. Consultar el gráfico mural SPG de su organización local o la norma ISO 14713:2. #1. En caso de necesidad, los orificios no deseados pueden cerrarse después del Galvanizado por Inmersión en Caliente. Para más información, consultar con su organización local.	P1	P1	
10	Si va a especificarse pintura después del Galvanizado por Inmersión en Caliente, asegurarse de incluir la instrucción: " No se requiere pasivación - el sustrato debe ser apto para pintura " en la etapa del pedido, a menos que se discuta y excluya específicamente. #2	P1	P1	
11	Seleccionar superficies significativas, resaltarlas en el plano y discutirlo con el galvanizador y/o su organización local.	P1	P1	
12	En caso de ser necesario, galvanizar por inmersión en caliente una muestra a fin de establecer criterios de aceptación o rechazo.	P1	P1	
13	Especificar un tipo adecuado de rotulador para marcado temporal durante la fabricación. La pintura al agua Poli Vinil Acetato 50/50 es aceptable para marcado temporal.	P1	P1	
14	Si se utilizan marcas permanentes, como letras soldadas, deberán ocultarse adecuadamente de la vista final.	P1		
15	Especificar que todos los bordes cortados por llama se rectifiquen completamente, idealmente 2 mm desde la superficie principal.	P1	P1	
16	En caso necesario para minimizar el daño por manipulación, solicitar que se proporcionen ojales de colgado correctamente posicionados o, si no fuera aceptable, todas las partes intervinientes, incluido el galvanizador, el transporte, el manipulador, el montador, etc. deberán utilizar eslingas blandas. El uso de las ojales es lo más apropiado.	P1	P1	
17	Especificar la soldadura más adecuada para su propósito. No permitir soldadura excesiva.	P2		
18	En caso de utilizarse soldadura por electrodo, asegurarse de que la escoria se elimine por completo mediante arenado o granallado antes de la entrega al galvanizador. La porosidad excesiva en la soldadura puede tener un efecto marcado en la calidad del Galvanizado por Inmersión en Caliente.	P1	P1	
19	Si la acumulación de zinc en una soldadura fuera inaceptable por razones estéticas, especificar el tipo correcto de alambre o electrodo. Algunos materiales de soldadura son reactivos al Galvanizados por Inmersión en Caliente y pueden dar como resultado un recubrimiento excesivo en la zona soldada. Consultar con su organización local.	P1		
20	Simplifique los componentes: Estructuras simples: mejor calidad de recubrimiento Estructuras complejas: más difíciles de manipular en el baño de galvanizado, se necesita más control y limpieza postratamiento.	P1	P1	

21	Simplificar las estructuras complejas haciendo uso de pernos cuando sea posible o, alternativamente, diseñar previendo soldadura pos-galvanizado mediante el uso de un material de enmascarado adecuado como "Galvastop", que permite fácil limpieza, soldadura y reparación.	P1	P1	
22	Discuir con el galvanizador los requisitos de embalaje y estiba. Asegurar que se disponga de un sitio amplio en el lugar de descarga. El Galvanizado por Inmersión en Caliente se aplica en una planta fabril y luego se transporta a la obra, donde frecuentemente los componentes se descargan de manera inapropiada. La descarga inadecuada puede conducir a daños mecánicos innecesarios en el revestimiento. Además, como los componentes generalmente no están envueltos, puede ocurrir decoloración del recubrimiento por contaminantes presentes en instalaciones húmedas. Por ejemplo, debería evitarse el pulido mecánico de ladrillos de arcilla húmeda en cercanías de componentes galvanizados.	P1	P2	
23	Si el galvanizador considera que es inevitable una reparación, discutir el método apropiado. La pintura plateada en aerosol por sí sola, no es recomendable. Mientras el Galvanizado por Inmersión en caliente permanece brillante, esta pintura puede ser aceptable estéticamente, pero cuando el Galvanizado adquiere su apariencia gris mate, la pintura se diferenciará y será estéticamente inaceptable. Por otra parte, la mayoría de las pinturas en aerosol plateadas no proporcionan la misma protección que una buena pintura epóxica rica en zinc a los fines de reparación.	P1	P1	
24	Cuando deban realizarse reparaciones o ajustes en la obra, discutir con los contratistas el tamaño máximo de superficie de reparación permitida. Consultar la norma ISO 1461. Obtener recomendaciones en su organización local.	P1		
25	Discutir los requisitos de inspección de los componentes antes de que salgan de las instalaciones del galvanizador.	P1	P1	
26	Si fuera necesario, asegurarse de que se ha obtenido del galvanizador un certificado de conformidad de acuerdo con la especificación. #4	P1	P1	
27	En la programación, prever el tiempo que demanda el proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente, típicamente de 3 a 7 días hábiles, a menos que se hagan otros acuerdos. #3	P1	P1	
Nº	CRITERIOS DE LOS GALVANIZADORES	GA	GN	S / N
1	Previo a concretar la oferta, consulte si los componentes deben ser Galvanizados por Inmersión en Caliente según un "Estándar Arquitectónico". En caso afirmativo, asegúrese de que todos los participantes del proyecto entiendan esos criterios y tengan una copia de la presente lista de verificación.	P1		
2	Si se requiere un acabado arquitectónico, obtenga un boceto que indique superficies significativas o proporcione una muestra funcional galvanizada por inmersión en caliente, para fines de discusión, negociación y aceptación.	P1		
3	Insista en obtener los certificados de análisis químico de los aceros para fines de control y registro del galvanizado.	P1	P1	
4	Asegúrese de que se hayan discutido y acordado las superficies significativas si fuera necesario.	P1	P1	
5	Asegúrese de que los componentes puedan galvanizarse en una sola inmersión. De lo contrario, informe al fabricante, cliente y/o especificador sobre las implicancias de la doble inmersión en relación a la calidad del recubrimiento.	P1	P1	
6	Al descargar componentes en la planta de galvanizado, asegúrese de que se registre cualquier daño que hubiera ocurrido en el transporte y notifique debidamente al cliente.	P1	P1	
7	Asegúrese de que se hayan proporcionado orificios adecuados de llenado, drenaje y ventilación.	P1	P1	
8	Asegúrese de que los orificios de llenado, drenaje y ventilación estén ubicados en los lugares correctos.	P1	P1	
9	Para manipular los componentes, utilice las ojales de colgado (si se suministran) o, alternativamente, utilice eslingas blandas después del Galvanizado por Inmersión en Caliente.	P1	P1	
10	Controle el contenido óptimo de aluminio en el baño de zinc.	P1	P2	
11	En razón de la composición del acero, discuta el enfriamiento rápido en agua después del galvanizado, para limitar la acumulación de aleación de hierro/zinc en aceros reactivos. Esto sólo es necesario si la composición del acero no se ha especificado o si el acero es reactivo al zinc fundido. El galvanizador debe ser consciente de la probabilidad de deformación de ciertos componentes ante un enfriado rápido, y discutir estos riesgos con el equipo del proyecto.	P1	P1	
12	Asegúrese de que todas las superficies significativas previamente acordadas se hayan limpiado y no presenten imperfecciones después del Galvanizado por Inmersión en Caliente.	P1	P1	
13	Asegure la limpieza adecuada de los componentes, particularmente grumos, corridas y aspereza superficial excesiva, utilizando métodos apropiados, especialmente en superficies significativas. Prevenga la limpieza excesiva, que podría conducir a la aparición de áreas sin recubrimiento. Discuta la limpieza con llama versus la limpieza mecánica con los participantes del proyecto.	P1	P1	
14	La pintura en aerosol con zinc no es aceptable. Asegúrese de que el especificador esté informado del método de reparación de áreas sin recubrimiento que pueden ocurrir debido a la retención de aire durante el galvanizado o como resultado de daños mecánicos en la planta de galvanizado.	P1	P1	
15	Si se ha especificado una pintura posterior al galvanizado, deben excluirse las sustancias químicas pasivantes en el agua de enfriamiento. Ver # 2	P2	P2	
16	Asegúrese de que se realicen inspecciones de los componentes antes y después del Galvanizado por Inmersión en Caliente a requerimiento del cliente. Si fuera el caso, emitir un certificado de no conformidad antes de la galvanización o conformidad con ISO 1461, después del proceso.	P1	P1	

PERFILES DE SOPORTE DE SEÑALÉTICA GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE POR SISTEMA CONTINUO Y POR SISTEMA GENERAL (POR LOTES o BATCH)



1

ESTRUCTURAS METÁLICAS Y CANALES PORTACABLES				
Sección típica	Material	Largo	Revestimiento	Usos
	Acero dulce de 2,5 mm de espesor	6,0 m.	Galvanizado por Inmersión en Caliente de acuerdo con ISO 1461	Estructuras metálicas, bandejas portacables, soportes para condensadores, soportes para ductos de aire o agua
	Acero dulce de 2,5 mm de espesor	5,0 m.	Revestimiento ISO 3575 clase Z275	



2

Sección típica	Material	Largo	Revestimiento	Usos
	Acero dulce de 1,6 mm de espesor	5,0 m.	Revestimiento ISO 3575 clase Z275	Estructuras livianas, estanterías, sistemas de cableado eléctrico
	Acero dulce de 1,0 mm de espesor	5,0 m.	Revestimiento ISO 3575 clase Z275	Sistemas de cableado eléctrico



3

Sección típica	Material	Largo	Revestimiento	Usos
	Acero dulce de 2,5 mm de espesor	6,0 m.	Galvanizado por Inmersión en Caliente de acuerdo con ISO 1461	Estructuras metálicas, bandejas portacables, soportes para condensadores, soportes para ductos de aire o agua
	Acero dulce de 2,5 mm de espesor	5,0 m.	Revestimiento ISO 3575 clase Z275	
Sección típica	Material	Largo	Revestimiento	Usos
	Acero dulce de 1,6 mm de espesor	5,0 m.	Revestimiento ISO 3575 clase Z275	Estructuras livianas, estanterías, sistemas de cableado eléctrico
	Acero dulce de 1,0 mm de espesor	5,0 m.	Revestimiento ISO 3575 clase Z275	Sistemas de cableado eléctrico

Fotos 1 a 3: Ubicación, sección transversal y espesor de revestimiento típicos de un perfil galvanizado por inmersión en caliente en sistema continuo de 1,6 mm de espesor.

Fotos 4 a 6: las tres fotos inferiores muestran la ubicación y espesor de revestimiento típico de un perfil galvanizado por inmersión en caliente general (por lotes) de 2,5 mm de espesor. Como la vida útil de los revestimientos es proporcional a su espesor, tiene sentido usar una capa más gruesa cuando el soporte estará expuesto a ambientes más agresivos.



4



5



6

S2 - CONOCIENDO LOS REVESTIMIENTOS METÁLICOS DE ZINC

PRECAUCIONES PARA TENER EN CUENTA CUANDO SE GALVANIZAN ACEROS CON ALTO CONTENIDO DE FÓSFORO (2012)

Para lograr un revestimiento Galvanizado por Inmersión en Caliente de buena calidad, adherencia y apariencia y de un espesor medio de al menos 85 μm , de acuerdo con la norma ISO 1461, el contenido de silicio del acero deberá limitarse al ideal indicado en la conocida Curva de Sandelin (figura 1). La Curva de Sandelin expresa:

Dos componentes químicos del acero que afectan el espesor y apariencia estética del revestimiento de zinc son el silicio y el fósforo. Cuando el contenido de silicio se ubica fuera de los rangos deseables en la Curva de Sandelin, el resultado es una capa de color gris moteado a plata o gris oscuro, de espesor excesivo y fácilmente deteriorable. Por otra parte, cuando el contenido de fósforo supera del valor especificado, afectará el resultado de la unión metalúrgica del revestimiento. Es decir, se producirá delaminación del galvanizado en grandes áreas localizadas.

A efectos de un buen galvanizado, los aceros ideales requieren rangos de contenido de silicio de entre 0,02 a 0,04% (acero calmado con aluminio) o de 0,15 a 0,25% (acero calmado con silicio). En cuanto al contenido máximo de fósforo, debe ser inferior a 0,02%.

El acero que cae fuera de estos rangos se llama acero "reactivo" en términos de galvanización.

La norma ISO 1461 en su Anexo A, aborda la información esencial que el comprador deberá proporcionar al galvanizador, incluyendo información sobre la composición química del acero. El hecho de que el Anexo esté situado en el reverso de la norma no reduce su importancia como herramienta para especificar Galvanizado por Inmersión en Caliente, garantizando la calidad del producto que esperamos obtener de galvanizadores de buena reputación y buenas prácticas.

La mayoría de los galvanizadores generales aceptarán acero para Galvanizado por Inmersión en Caliente siempre que el componente haya sido diseñado y fabricado teniendo en cuenta algunas simples reglas de diseño. Sin embargo, no tienen forma de conocer la reactividad potencial del acero con respecto al zinc fundido, a menos que dispongan de un certificado preciso de su composición química.

Para revestimientos de servicio pesado en aceros de grandes secciones, como el que habitualmente se requiere para usos en minería subterránea, un poco de reactividad es una ventaja para poder alcanzar espesores de revestimiento galvanizado por inmersión en caliente de más 150 μm .

El galvanizador es responsable del Galvanizado por Inmersión en Caliente, pero la elección del grado de acero y su composición

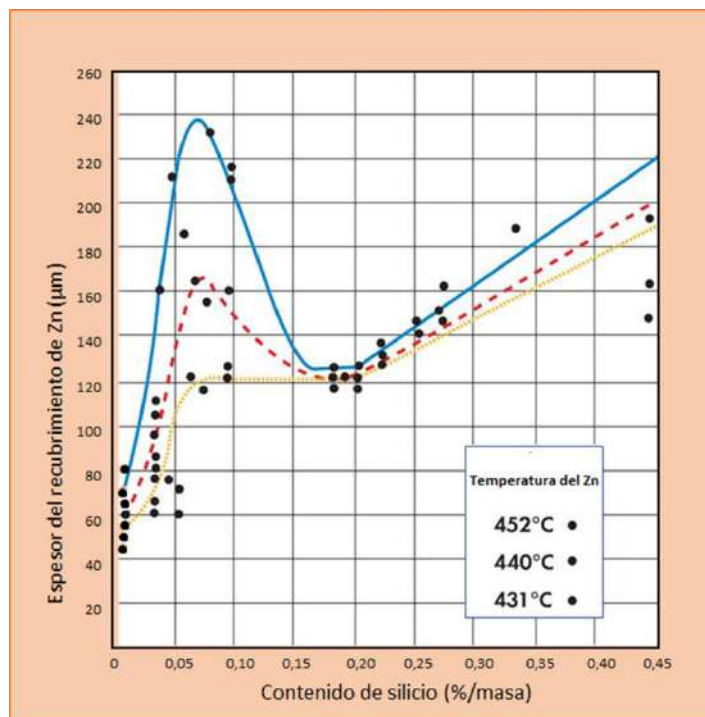


Figura 1: Efecto de la temperatura del baño en la tradicional Curva de Sandelin.

química son responsabilidades del especificador, el fabricante y el proveedor de acero, particularmente cuando este último ha sido informado de que el acero será galvanizado por inmersión en caliente.

Como regla general el fabricante, al comprar el acero, debe asumir la responsabilidad de comprobar su composición química en relación con su idoneidad para ser galvanizado por inmersión en caliente (como también su adaptabilidad a los requisitos del diseño). En Sudáfrica, los laminadores de acero se encargarán, siempre que se solicite, de suministrar acero adecuado para Galvanizado por Inmersión en Caliente. Sin embargo, cuando se trata de los llamados aceros de calidad comercial, no hay certificados de composición química disponibles.

Si el galvanizador está informado de que la composición química de un lote particular de acero lo sitúa en el rango de "aceros problemáticos", entonces podrá actuar en consecuencia. Sin embargo, los métodos que pueden usarse para limitar la acumulación excesiva de revestimiento son generalmente exiguos en comparación con el efecto de acumulación de revestimiento de los aceros extremadamente reactivos. Si el Galvanizado por Inmersión en Caliente del acero no fuera posible, el galvanizador puede ofrecer a su cliente una protección por proyección térmica de zinc, como alternativa.

Foto 1: Niveles de fósforo fuera de rango pueden causar grietas severas en el revestimiento.

1



Fotos 2 - 5: Niveles de fósforo fuera de rango pueden causar agrietamiento y delaminación local del revestimiento.



2



3



4



5

LIMPIEZA POR ABRASIÓN EN DIFERENTES REVESTIMIENTOS (2013)

Pretratamiento esencial para diferentes revestimientos aplicados a sustratos de acero



El arenado, granallado y micro granallado son requisitos previos esenciales para la aplicación exitosa de revestimientos protectores metálicos.

En este artículo examinaremos por qué es necesaria la limpieza abrasiva y por qué es un pretratamiento indispensable para los diferentes revestimientos que analizamos a continuación.

Pintura

Para conseguir un buen sistema de revestimiento de protección, deben eliminarse contaminantes, óxido y cascarilla de laminación del acero mediante chorro abrasivo, antes del pintado. Un sistema de pintura de calidad requiere una superficie limpia con un perfil adecuado para proporcionarle adherencia. La expectativa de vida del revestimiento es directamente proporcional a la limpieza de la superficie y al espesor del de revestimiento. Pruebas realizadas en el Reino Unido han demostrado que, en ambientes exteriores, la vida útil de un sistema de revestimiento de pintura aplicado sobre superficie tratada mediante abrasión durará entre 3 y 5 veces más que el mismo sistema aplicado sobre una superficie tratada mediante cepillo de alambre.

La limpieza mecánica debe realizarse hasta un grado SA 2 1/2 o SA 3 de acuerdo con la norma ISO 8501-1, que es un acabado de metal blanco o semi blanco, con un perfil de superficie que puede variar de 25 a 75 µm dependiendo de los requisitos del fabricante de pintura y espesor de película seca del sistema. Estos espesores pueden variar de entre 75 µm para condiciones rurales hasta 500 µm para ambientes agresivos de niebla salina.

Granallado y proyección de metales

En este caso el perfil de voladura (50 a 75 µm) es muy importante para asegurar una adherencia adecuada del revestimiento de metal proyectado. Además, el revestimiento

debe sellarse utilizando un cepillo de alambre de acero inoxidable ya que tiende a ser ligeramente poroso. Antes de utilizar proyección de zinc metálico para la reparación de revestimientos de galvanizado por inmersión en caliente, el área dañada debe lijarse localmente, asegurando una buena superficie de adhesión.

Fundición

La limpieza abrasiva es esencial en las piezas de fundición de hierro antes del Galvanizado por Inmersión en Caliente.

Micro abrasión antes de pintar sobre un revestimiento nuevo de Galvanizado por Inmersión en Caliente

Para proporcionar un buen anclaje en una superficie recién galvanizada utilizando limpieza abrasiva mediante microgranos, son importantes la reducción de la presión, el ángulo de incidencia, el tipo de boquilla y la distancia de barrido. Un buen revestimiento de pintura correctamente aplicado sobre Galvanizado por Inmersión en Caliente se considera el Rolls Royce del control de la corrosión. Esto se conoce como Sistema Dúplex.

Granallado

Si bien no es necesario para todo el galvanizado, en ciertos casos hay beneficios importantes. En aceros muy picados y oxidados el único método para eliminar los productos de corrosión es mediante el granallado de las zonas afectadas. Los ácidos sólo eliminarán el óxido de la superficie y no penetrarán en las cavidades a menudo causadas por la exposición a entornos agresivos con presencia de cloruros. Luego del granallado, el acero limpio puede volver a galvanizarse para proporcionar al cliente un importante ahorro de costos en lugar de reemplazar la estructura con acero nuevo. El granallado también es adecuado

para eliminar revestimientos de pintura y cascarilla de laminado, pero otros contaminantes como aceites, grasas y sales deben eliminarse con una solución desengrasante antes del granallado.

Granallado de aceros con contenidos reactivos de silicio y altos niveles de fósforo

Cuando estos aceros se galvanizan por inmersión en caliente y se obtienen revestimientos gruesos y frágiles, es importante proporcionar al cliente un revestimiento que resistirá el manejo mecánico previo a la instalación sin sufrir daños que requieran reparación excesiva en la obra.

Un tiempo de inmersión excesivo en el zinc fundido, a veces inevitable debido a la ventilación inadecuada en estructuras tubulares grandes y complicadas, como pórticos de señalización vial, podría acentuar la aparición de revestimientos gruesos y quebradizos. Además de la unión metalúrgica que ocurre durante el galvanizado, una superficie pulida por abrasión proporcionará un perfil superficial que garantizará un enlace mecánico adicional. Esto es particularmente clave en el galvanizado de alto espesor causado por el tipo de acero.

Limpieza abrasiva para proporcionar un color relativamente uniforme

El flagelo de la industria del galvanizado es un revestimiento que toma un color gris muy oscuro o, debido a los niveles de silicio y fósforo, aparecen grandes porciones manchadas de un brillo

plateado, un gris opaco y rayas plateadas tipo cebra.

Debido a su aspecto desagradable es el revestimiento más rechazado por clientes mal informados. Sin embargo, desde la perspectiva del control de la corrosión, es un buen revestimiento que durará por períodos de tiempo sustancialmente largos.

Previo acuerdo con el cliente, la apariencia de estos revestimientos puede mejorarse mediante una limpieza abrasiva antes del galvanizado, que eliminará una cantidad de contaminantes en la superficie del acero en y proporcionará un revestimiento uniforme de color gris mate, estéticamente agradable.

Debido a que se suma un cierto costo al producto terminado, los clientes son normalmente reacios a pagar este precio adicional. Sin embargo, cuando se trata de estructuras de acero pesadas destinadas a exportación o para ser transportadas a distancia, tiene el efecto de eliminar la fragilidad del revestimiento y presentar al cliente un producto estéticamente agradable. La adición de níquel u otras aleaciones aprobadas al crisol de zinc también contribuye a mejorar la apariencia.

Es el deber de cada galvanizador en caliente promocionar y proveer un producto estéticamente agradable (cuando sea necesario) que posea las cualidades inigualables e incuestionables proporcionadas por el Galvanizado por Inmersión en Caliente para el control de la corrosión.



2



3



4

Foto 1: Vista general de un pórtico de señalización vial.

Foto 2: el color gris mate del galvanizado por inmersión en caliente como resultado de la limpieza abrasiva del sustrato.

Fotos 3 - 4: primeros planos que muestran el color y el revestimiento de espesores de 694 y 482 µm respectivamente.

Foto 5: Color del anclaje de la placa base.

Foto 6: Daño ocurrido en un revestimiento grueso y frágil que no se limpió correctamente antes del Galvanizado por Inmersión en Caliente.



5



6

Foto 7: espesor de revestimiento de 634 µm en la placa base.



7

ENMASCARADO: TODO SOBRE GALVASTOP (2014)

La posibilidad de enmascarar áreas específicas antes del galvanizado permite al proceso una mayor flexibilidad y apertura a una gama más amplia de aplicaciones

Introducción

Los materiales de enmascarado son productos que se aplican al componente de acero en áreas específicas antes del Galvanizado por Inmersión en Caliente para evitar que el Zinc reaccione y se adhiera al acero.

Las industrias de galvanizado por inmersión en caliente usan enmascarado para los siguientes fines:

- Principalmente para evitar revestimiento de zinc en áreas grandes que no deben galvanizarse por especificación del proyecto, en lugar de quitarlo posteriormente al galvanizado.
- Los productos de enmascarado se aplican también a hilos de rosca donde se necesita un ajuste preciso y el espesor adicional del revestimiento galvanizado causaría problemas de ajuste.
- La posibilidad de enmascarar áreas específicas antes del galvanizado permite al proceso una mayor flexibilidad y apertura a una gama más amplia de aplicaciones.

Hay varias compañías que ofrecen este producto a la industria de galvanizado.

Mecanismo

El producto en consistencia de pasta se aplica cuidadosamente sobre las áreas designadas, atraviesa el proceso de decapado sin sufrir daños y finalmente se endurece con la temperatura del proceso de galvanizado, evitando el contacto del zinc con el sustrato. Después del proceso, el residuo se elimina fácilmente con cepillo de alambre.

Secuencia del proceso

- Las superficies deben limpiarse antes de aplicar una máscara como "Galvastop".
- Una vez que el componente esté seco, se aplica cuidadosamente "Galvastop" con brocha o esponja.
- Debe asegurarse que el área deseada esté completamente cubierta. Evitar áreas desnudas.
- "Galvastop" debe secarse antes del proceso de galvanizado. Dejar transcurrir aproximadamente 3 a 4 horas antes del procesamiento de las piezas.

Preparación del producto

- El producto viene listo para usar.
- Revuelva, agite bien y aplique sobre la superficie.

Conclusión

La eficacia del enmascarado del acero a galvanizar nunca es del 100%, pero con una cuidadosa preparación, los resultados mejoran considerablemente.

Referencias

- (1) American Galvanizing Association, 2010. Procesamiento y diseño.
 (2) Ask Dr. Galv, <http://www.galvanizeit.org.images/uploads>.



1



2



3



4



Foto 1: Las tuberías de agua para alta presión tienen bridas de acoplamiento que, si se galvanizan, pueden resultar en un revestimiento excesivo para el montaje. Se utiliza "Galvastop" para excluir esas áreas, y finalmente los extremos se tratan con zinc metálico rociado para control de la corrosión.

Foto 2: hilos machos recubiertos con "Galvastop".

Foto 3: Este agujero interior ha sido recubierto con "Galvastop" y se limpió después del galvanizado, mostrando un área deliberadamente libre de revestimiento.

Foto 4: "Galvastop" ha sido eliminado después del galvanizado en esta rosca hembra, que muestra hilos dejados intencionalmente sin revestimiento.

¿CUÁNDO UNA PROTECCIÓN ES CATÓDICA Y CUÁNDO NO LO ES? (2012)

Para entender qué es la Protección Catódica (PC), se deben comprender primero los conceptos básicos del mecanismo de corrosión.

Para que se produzca corrosión, deben estar presentes tres condiciones:

1. Dos metales diferentes
2. Un electrolito (agua con cualquier tipo de sal o sales disueltas)
3. Un conductor entre los dos metales diferentes

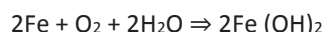
Los dos metales pueden ser completamente diferentes, como el acero y el zinc, pero con mayor frecuencia se trata de diferencias metalúrgicas microscópicas o macroscópicas en la superficie de una misma pieza de metal, como el acero. Si las condiciones anteriores están presentes, a mayor superficie metálica activa (en este caso consideraremos la corrosión en acero no uniforme), la siguiente reacción tiene lugar en los sitios más activos: (dos iones de hierro más cuatro electrones libres)



Los electrones libres viajan a través del conductor hacia los sitios menos activos donde tiene lugar la siguiente reacción: (oxígeno gaseoso convertido en iones de oxígeno, al combinarse con los cuatro electrones libres, que se combinan con agua para formar iones hidroxilo)



La recombinación de estos iones en la superficie activa produce las siguientes reacciones, que resultan en la formación de hidróxido ferroso, producto de la corrosión del hierro: (hierro combinado con oxígeno y agua para formar hidróxido ferroso)



Esta reacción se describe más comúnmente como *flujo de corriente a través del agua desde el ánodo* (sitio más activo) *al cátodo* (menos sitio activo). La protección catódica previene la corrosión al convertir todos los sitios anódicos (activos) en la superficie del metal a sitios catódicos (pasivos) mediante el suministro de corriente eléctrica (o electrones libres) de una fuente alternativa.

En el caso del Galvanizado por Inmersión en Caliente (GIC), esto

ocurre porque el zinc es más electronegativo que el acero y por lo tanto se sacrifica, protegiéndolo. La PC se verifica en este caso porque existe un ánodo (superficie de acero), un cátodo (superficie de zinc), una conducción metálica entre las capas de aleación zinc-hierro que se forman durante el proceso de galvanizado, y un electrolito (agua de mar, partículas de agua de la atmósfera, etc.).

La protección catódica (PC) funciona en componentes sumergidos (por ejemplo, tanques de agua) o estructuras enterradas (por ejemplo, tuberías, pilotes, plataformas marinas, etc.), donde la resistencia del circuito permite que fluya corriente suficiente desde ánodo hacia el cátodo a través del electrolito (suelo, agua de mar, etc.).

¿PC funciona en automóviles, asientos de estadio de acero?

No. Sólo funcionaría si uno sumergiera el automóvil, los estadios, etc. en agua (electrolito). Si PC trabajara en automóviles, sería estándar en todos los BMW, Mercedes, Toyota, Nissan, VW, Audi, etc., etc., pero no lo es.

¿Las pinturas pueden proporcionar PC?

No. Consulte *Imprimaciones de zinc: descripción general* en la página 20.

¿La PC funciona en la “zona de salpicadura marina” (ZSM) o en otras zonas de salpicadura?

No, porque el suministro de “electrolito” y el flujo de corriente son intermitentes. Debido al agua altamente oxigenada y condiciones húmedas y secas alternativamente, se observan tasas de corrosión extremadamente altas. En sistemas cuidadosamente diseñados, con “electrolitos” modificados en forma permanente, se promueve la PC en una ZSM. Al respecto consulte <https://structuraltechnologies.com/corrosion-control/lifejacket/>. El entorno se ha modificado para permitir que se produzca la PC.

La PC, como todos los demás sistemas de protección, tiene sus limitaciones. Si subsisten dudas luego de aplicar la simple lógica y razonamiento, podría necesitarse el asesoramiento de un especialista en corrosión.



1



2

Foto 1: Revestimiento galvanizado delgado (Z275) en picos de seguridad de cercas en Kenilworth Cape Town después de 15 años de exposición, con un mínimo de 13.5 µm a un nominal de 20 µm por cara, al inicio. Tanto en los bordes como mayormente en los extremos, el revestimiento de zinc que proporciona PC se contraerá lentamente revelando un área localmente oxidada que, a medida que el zinc retrocede, aumentará gradualmente de tamaño.

Foto 2: Después de 26 años de exposición a entornos marinos templados, esta rejilla de acero galvanizado por inmersión en caliente que nunca recibió mantenimiento todavía conserva protección catódica, aún en los extremos.

IMPRIMACIONES DE ZINC: VISIÓN GENERAL (2005)

El Zinc metálico como imprimación protectora

En general, se acepta que las partículas de zinc metálico aplicadas a una superficie de acero en un esquema de pintura en forma de imprimación de zinc proporcionarán protección catódica al sustrato. En presencia de humedad como electrolito, el acero forma el cátodo y el zinc el ánodo en la celda de corrosión resultante. Por lo tanto, el zinc se corroerá preferentemente protegiendo al acero. Esta protección continuará hasta que termine de consumirse el zinc en el esquema de pintura. ^{#1}

Galvanizado por Inmersión en Caliente vs. pintura rica en zinc (Zinc Rich)

Debe recordarse que es el zinc metálico lo que proporciona protección catódica al acero, y el grado de protección obtenido es directamente proporcional al espesor del revestimiento. Tanto en el Galvanizado por Inmersión en Caliente, como en pinturas ricas en zinc, la protección dependerá de la masa de zinc presente en la película seca, así como del espesor del revestimiento.

Otro factor importante para tener en cuenta es el medioambiente al que el componente estará expuesto. El Zinc es un metal anfótero, es decir, se corroerá tanto en medios ácidos como alcalinos. Por lo tanto, debe tenerse especial precaución al seleccionar revestimientos a base de zinc para ambientes químicos. El Zinc sólo debería usarse donde el rango de pH esté entre 6 y 12,5. ^{#2}La protección mediante pinturas que contienen fosfato de zinc y cromato de zinc no es catódica, ya que son esos productos son inhibidores y no metales de sacrificio, esto es, proporcionan protección por un mecanismo totalmente diferente.

Analizando las pinturas ricas en zinc, sólo aquellas que contienen cantidades suficientes de polvo de zinc metálico proporcionarán protección catódica. Obviamente, debe haber suficientes partículas de zinc presentes para asegurar el contacto eléctrico

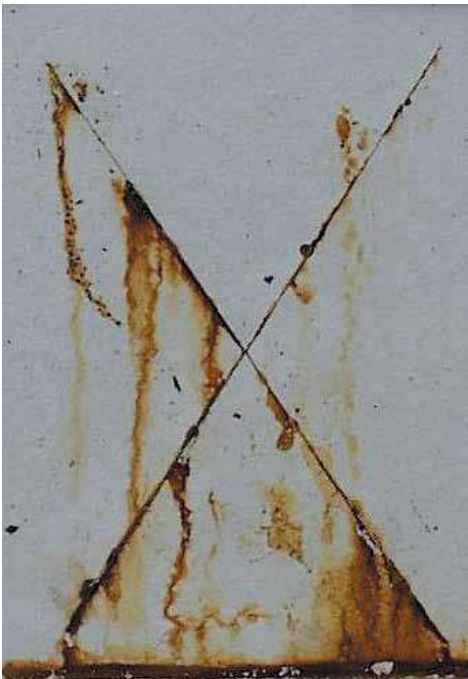
entre ellas para formar un ánodo común. Si las partículas de zinc están dispersas en el aglutinante, no proporcionarán protección catódica ya que básicamente estarían aisladas del sustrato y entre sí. Por otro lado, si se agrega demasiado polvo de zinc, podría no haber suficiente aglutinante disponible para unir estas partículas, generando un revestimiento de adhesión y cohesión pobres. De acuerdo con ISO 12944, todas las pinturas ricas en zinc deben contener un mínimo de 80% de zinc en su película seca para funcionar como imprimaciones de sacrificio.

Desde el punto de vista del contenido de zinc, el Galvanizado por Inmersión en Caliente es la mejor imprimación rica en zinc.

El término "Sistema Dúplex" fue introducido por primera vez a principios de los años cincuenta por Jan van Eijnsbergen, del Instituto Holandés de Galvanizado por Inmersión en Caliente. Describe la protección del acero mediante Galvanizado por Inmersión en Caliente más un sistema de revestimiento orgánico. El propósito es suministrar resistencia adicional ante la corrosión, fácil visibilidad, camuflaje o, cuando se requiere, una apariencia estética más agradable.

Los sistemas de revestimiento Dúplex proporcionan sinergia en virtud de que la durabilidad del sistema combinado de Galvanizado por Inmersión en Caliente más revestimiento orgánico es mayor que la suma de las durabilidades individuales.

Las razones de este efecto sinérgico son las siguientes: cuando la humedad, el oxígeno y otros contaminantes se difunden a través de un revestimiento de pintura aplicado sobre acero, comienza la formación de óxido en la interfaz. Como los productos de oxidación (la mezcla de óxidos de hierro hidratados de diferentes composiciones) tienen un volumen de aproximadamente dos a tres veces el volumen del acero del que se formaron, el revestimiento de pintura perderá contacto con el sustrato por efecto de la expansión y, dependiendo de su adhesión y cohesión comenzará a agrietarse y/o desprenderse.



1



2

Foto 1: *acero dulce con revestimiento en polvo – 2.000 horas de niebla salina ^{#1}*

Foto 2: *chapa galvanizada por inmersión en caliente continua, más revestimiento de zinc en polvo - Z275 – 2.000 horas de niebla salina ^{#1}*

^{#1} Ambos revestimientos en las fotos 1 y 2 fueron marcados en el sustrato de acero antes de exposición a la prueba de niebla salina.

Cuando la base de un sistema de pintura es acero galvanizado por inmersión en caliente, la difusión de humedad, oxígeno y contaminantes a través de la pintura hacia el zinc hace que el zinc puro (la capa Eta) se corroa lentamente.

Sin embargo, el volumen de los productos de corrosión del zinc (principalmente óxido e hidróxido de zinc) es sólo 15 a 20% mayor que el volumen de zinc a partir del cual se han formado. Estos productos de corrosión de zinc bloquearán los pequeños poros, cráteres o grietas en el revestimiento de pintura^{#3}, conservando así sus propiedades protectoras por un período prolongado, siempre que inicialmente se haya logrado una adecuada adherencia de la pintura.

El beneficio de una imprimación de zinc como el Galvanizado por Inmersión en Caliente como sustrato de un sistema de revestimiento orgánico se ilustra en la comparación de las fotografías 1 y 2. La fotografía de la izquierda muestra un panel de acero dulce con revestimiento en polvo que ha sido expuesto en una cámara de niebla salina por 2.000 horas. La mancha de óxido que surge desde los cortes muestra que el acero subyacente está corroyéndose donde la niebla salina alcanzó acceso al sustrato. Los productos de corrosión de hierro, por su volumen, desprenden el revestimiento adyacente a los cortes. La fotografía de la derecha muestra un panel con revestimiento en polvo sobre chapa galvanizado por inmersión en caliente en sistema continuo (Revestimiento Z275 - equivale a un espesor de aproximadamente 20 μm). En este caso, la imprimación de zinc metálico ha proporcionado protección catódica al acero subyacente en los cortes. El zinc adyacente se sacrifica para proteger el acero, formando productos de corrosión de zinc blanco. El volumen sólido de los productos de corrosión del zinc es pequeño y, por lo tanto, el revestimiento adyacente a los cortes ha sufrido poco daño. Después del mismo período de 2.000 horas todavía hay suficiente zinc para evitar la corrosión del sustrato de acero. El revestimiento de zinc adyacente a los puntos de corte se agotará con el tiempo, debido a su naturaleza sacrificial. A medida que retroceda, dejará el acero sin revestimiento en esas áreas^{#4}, donde comenzará una corrosión localizada. Se requerirán reparaciones de mantenimiento de pintura antes de que se dañe el sustrato de acero.

En circunstancias particulares, como posibles restricciones de diseño, tamaño de los componentes, ubicación geográfica del fabricante con relación a la planta de galvanizado, o donde el Galvanizado por Inmersión en Caliente no sea práctico o posible, éste podría tener que sustituirse por un revestimiento de zinc inorgánico o zinc en medio orgánico (epoxi).

El análisis de las ventajas y desventajas del Galvanizado por Inmersión en Caliente en comparación a pinturas ricas en zinc supera el alcance de este artículo. Sin embargo, señalaremos que uno de los principales factores a considerar es el costo. Al respecto, se ha publicado una serie de artículos que permiten comparar costos relativos de Galvanizado por Inmersión en Caliente en comparación con las pinturas.^{#5}

La primera diferencia que debe tenerse en cuenta es que los costos de Galvanizado por Inmersión en Caliente se calculan por peso de acero galvanizado, mientras que los costos de pintura se basan en el área pintada. Hay tablas disponibles para la mayoría de las secciones de acero que proporcionan área en función de masa.

Como regla general, pueden usarse los siguientes valores:

- Acero extra ligero: más de 40 m^2 / tonelada
- Acero ligero: de 30 a 40 m^2 / tonelada
- Acero medio: de 20 a 30 m^2 / tonelada
- Acero pesado: menos de 20 m^2 / tonelada

En el Galvanizado por Inmersión en Caliente, el acero se somete a un proceso de limpieza de rutina, que incluye desengrase, decapado ácido y fluxado, con enjuagues de agua entre etapas, creando así una superficie limpia del sustrato, esencial para el Galvanizado por Inmersión en Caliente.

El espesor del revestimiento resultante depende de varios factores, incluyendo composición química y espesor del acero, rugosidad de la superficie y otros de menor importancia. En aceros de espesores iguales o superiores a 3 mm, pero inferiores a 6 mm, el espesor medio del revestimiento debe ser de al menos 70 μm , y en aceros de espesor mayor a 6 mm, de 85 μm .

El pintor deberá realizar una limpieza de la superficie mediante chorro abrasivo, y luego aplicará una imprimación rica en zinc (inorgánica u orgánica) de 75 μm de espesor de película seca para conseguir un sistema de revestimiento protector a un costo basado en área total del acero pintado.

La casuística ha demostrado que, para secciones de acero de hasta unos 35 m^2 / tonelada, es más rentable limpiar mediante chorro abrasivo y luego pintar, mientras que para secciones de acero de más de 35 m^2 / tonelada, es más rentable galvanizar por inmersión en caliente. Obviamente este punto de equilibrio varía con los costos del material crudo y la mano de obra en cada determinado momento. También podrá argumentarse que el revestimiento de Galvanizado por Inmersión en Caliente contiene más zinc y por lo tanto durará más que un revestimiento de 75 μm de espesor de pintura con 80% de zinc en película seca.^{#6} Por otro lado, una superficie galvanizada por inmersión en caliente requerirá una limpieza previa a la aplicación de una imprimación o un revestimiento intermedio.

El punto es, sin embargo, que ambos métodos para proporcionar la imprimación de zinc metálico requerida pueden ser rentables, dependiendo de las circunstancias. Es por esta razón que en los últimos años ambas opciones han sido incluidas en especificaciones de revestimientos protectores, dejando la decisión final sobre galvanizar o pintar en manos del mercado.

Lamentablemente, el galvanizado por inmersión en caliente no siempre prospera desde esta perspectiva, ya que conlleva consideraciones de logística que no ocurren en la pintura.

Muchos fabricantes tienen instalaciones de pintura en sus plantas, de manera que el componente fabricado se traslada a través de un equipo de granallado hacia la instalación de pintura donde recibe la imprimación, la capa intermedia y a veces la capa de acabado antes de ser transportado al sitio. Si el acero va a galvanizarse por inmersión en caliente, el fabricante debe producir los componentes, transportarlos hasta la planta de galvanizado y devolverlos a sus instalaciones para aplicar los revestimientos de pintura posteriores. Para hacer rentable el galvanizado por inmersión en caliente en estos casos, el galvanizador necesitará una instalación de pintura para aplicar los revestimientos sin incurrir en costos adicionales de transporte. El concepto de aplicar pintura en las instalaciones de galvanizado ya se ha implementado con éxito en una serie de

plantas de galvanizado en Sudáfrica. ^{#7}

Claramente, los revestimientos galvanizados por inmersión en caliente y los revestimientos de pintura se complementan entre sí en la industria de revestimientos protectores. Sin embargo, todavía se percibe en el mercado que los galvanizadores y la pintura compiten entre sí. ^{#8}

El Director Técnico de Marketing comenta el artículo sobre imprimaciones de zinc

#1 Debido a la naturaleza del esquema del revestimiento de pintura que contiene polvo de zinc, el zinc comenzará a sacrificarse inmediatamente luego de la aplicación, lo que lleva a un período relativamente corto de protección de sacrificio y, en consecuencia, protección contra la corrosión.

#2 Aunque el zinc es anfótero, es decir, se corroe a un pH menor de 6 y superior a 12,5, si está suficientemente protegido mediante un sistema de revestimiento orgánico integral, proporcionará un resultado superior al obtenido del mismo sistema de revestimiento de pintura aplicado directamente sobre acero al carbono.

#3 Todos los revestimientos de pintura con el tiempo se vuelven porosos, y esto permite la penetración de humedad al revestimiento.

#4 En comparación con un espesor de revestimiento de aproximadamente 20 μm , aplicado sobre chapa galvanizada en caliente en sistema continuo, clase Z275, (ISO 3575), el Galvanizado por Inmersión en Caliente General (ISO 1461) produce un revestimiento más grueso, de un espesor medio de 45 μm en aceros de menos de 1,5 mm de espesor, hasta 85 μm , de espesor medio del revestimiento para aceros de espesores mayores a 6mm. Cuanto mayor sea el espesor del revestimiento, será más prolongado el período de protección sacrificial en áreas dañadas antes del inicio de la corrosión, como se describe en los puntos detallados en el artículo.

#5 Comparaciones de precios recientes indican que el Galvanizado por Inmersión en Caliente por sí solo es competitivo en comparación con una limpieza abrasiva y una capa de aproximadamente 75 μm de espesor de película seca de pintura inorgánica rica en zinc en aceros ultraligeros (70 a 120 m^2 / ton) a aceros pesados (25 m^2 / ton). Esta comparación excluye el costo de inspección independiente de sustratos y revestimientos para aceros pintados, y el transporte adicional a planta en el caso de Galvanizado por Inmersión en Caliente.

#6 Un revestimiento Galvanizado por Inmersión en Caliente comprende una serie de capas de aleación Fe / Zn que constituyen entre el 50 y el 85% del revestimiento. En la mayoría

de los casos, las aleaciones de Fe / Zn proporcionarán al menos un control de la corrosión 30% mayor que un revestimiento de Zinc puro (Frank Porter).

#7 En nuestra opinión, los costos de transporte adicional se aplican no sólo al Galvanizado por Inmersión en Caliente, sino también a muchos fabricantes de estructuras de acero que enfrentan estrictas regulaciones ambientales y falta de personal calificado para la aplicación de pintura. Esto obliga a esos fabricantes a subcontratar la etapa de pintura. Además, hay muchos galvanizadores por inmersión en caliente que han adquirido la experiencia necesaria para preparar y aplicar al menos la capa de imprimación, si no todo el sistema de revestimiento. Adicionalmente, si esta experiencia no estuviera disponible, algunos galvanizadores pueden proporcionar a los pintores industriales espacio en sus instalaciones para la preparación y posterior pintura de los componentes galvanizados.

#8 Cuando se ha especificado el uso de revestimientos Dúplex, como se menciona al comienzo de este artículo, en la mayoría de los casos habrá cooperación entre las industrias de pintura y de Galvanizado por Inmersión en Caliente. Sin embargo, cuando se especifique un solo revestimiento que deba ser apropiado y rentable, siempre habrá competencia entre los actores de ambas industrias.



Las fotos muestran diferentes ángulos en el acero galvanizado por inmersión en caliente utilizado arquitectónicamente en la Biblioteca Nacional, Pretoria, Sudáfrica (ver artículo en la página 52).

S4 SINGULARIDADES TÉCNICAS DEL ZINC METÁLICO

DIFERENCIA ENTRE FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO Y FRAGILIZACIÓN POR TRABAJO EN FRÍO (2014)

Aunque ocurre con poca frecuencia, la fragilización del acero durante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente es una posibilidad

El tipo más conocido de fragilización es la fragilización por hidrógeno, pero muy rara vez ocurre durante el proceso de galvanizado. Si un componente de acero se vuelve quebradizo durante el galvanizado, lo más probable es que se deba a la fragilización por trabajo en frío y no a la fragilización por hidrógeno. Para diferenciar una de otra, debe comenzarse por explicar la palabra fragilización. El término se define en la norma ASTM A143 / A143M **Práctica estándar para la protección contra la fragilización de productos de acero estructural galvanizados por inmersión en caliente y procedimientos para la detección de la fragilidad**: la fragilidad es la pérdida total o parcial de ductilidad en aceros que fallan por fractura sin deformación apreciable. Otra forma de pensar en la fragilización es el agrietamiento del acero sin que se doble o flexione, indicando que el acero está cediendo.

Fragilización por trabajo en frío

El tipo más común de fragilización que se encuentra en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente es la fragilización por trabajo en frío. La fragilización por trabajo en frío es un proceso en el que el acero se vuelve frágil en áreas de altas tensiones, cuando se lo expone a temperaturas elevadas. A temperatura ambiente, la fragilización por trabajo en frío ocurre muy lentamente, pero a temperaturas elevadas, como las que requiere el proceso de galvanizado, puede sobrevenir rápidamente. Cuando el acero ha sufrido un estrés determinado debido al trabajo en frío, puede volverse quebradizo. Para que ocurra fragilización por trabajo en frío, deben estar presentes dos condiciones.

La primera es que las tensiones deben inducirse en el acero antes del proceso de galvanizado. Esto es normal cuando el acero ha sido trabajado en frío. El trabajo en frío puede incluir plegar, laminar, perforar o cortar el acero. Si el estrés de estas prácticas de trabajo en frío no se alivia antes del galvanizado, producirá puntos de alta tensión residual durante el proceso y conducirá a la fragilización. La fragilización por trabajo en frío también puede producirse por contenido de impurezas, como las que se encuentran en aceros de menor calidad utilizados para armaduras. Si una pieza se agrieta debido a la fragilización por trabajo en frío, el agrietamiento suele ocurrir inmediatamente después del galvanizado, pero también se ve a menudo en el lugar de trabajo, como en el caso de las barras de refuerzo. A menudo, la simple manipulación produce estrés suficiente para hacer que un componente fragilizado por tensión se agriete.

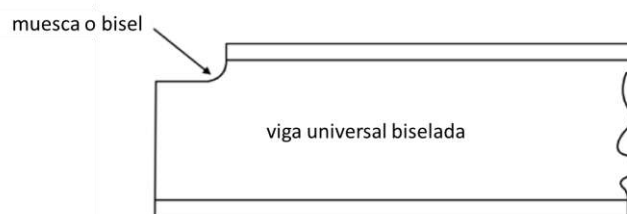
El agrietamiento del acero poco después del galvanizado permite distinguir entre fragilización por trabajo en frío y fragilización por hidrógeno. Hay varias formas de reducir la primera, pero todos

los métodos se centran en un aspecto: moderar las tensiones del acero antes de su galvanizado. En lugar del trabajo en frío, que induce tensiones en el acero, éste puede trabajarse en caliente a temperaturas entre 590°C y 700°C. También pueden aliviarse las tensiones inducidas calentando el acero a temperaturas de 650°C a 700°C para el caso de trabajo intenso, y hasta no más de 650°C para trabajos en frío menos severos.

Cuando se pliega el acero, es ideal hacerlo con un radio de, al menos, seis veces el espesor de la sección. En el punzonado de aceros gruesos (19 mm o más de espesor) es necesario fresar los orificios al menos 1,5 mm alrededor del borde del agujero. Cuando se corta con llama, como en vigas estructurales, el radio mínimo de los cortes debe ser de 25 mm o más. Se recomienda pulir las áreas alrededor de las muescas para eliminar pequeñas microgrietas en el proceso del acero por oxycorte.

¿Qué es una muesca?

El diagrama 1 muestra un detalle de muesca en una viga universal. Las muescas se cortan con llama, generalmente en dos operaciones. El primer corte elimina la cara superior y una sección del alma. La segunda operación corta el radio de la muesca y elimina la sección restante del alma.



Detalle del biselado en un perfil IPN

Fragilización por hidrógeno

La fragilización por hidrógeno ocurre cuando el acero se agrieta debido a hidrógeno atrapado entre los granos del metal. A pesar de que el acero absorbe comúnmente hidrógeno durante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, generalmente lo expulsa por acción de la temperatura del zinc en el crisol. En algunos casos, sin embargo, el tamaño de grano es demasiado pequeño para permitir la liberación de hidrógeno atómico. Esto posteriormente puede originar grietas debido al aumento de la tensión en las áreas de localización de hidrógeno entre los granos. En los aceros con resistencia a la tracción por debajo de 1.000 MPa (150.000 psi) los granos suelen ser lo suficientemente grandes como para permitir el escape de hidrógeno, pero cuando la resistencia a la tracción es superior a 1.000 MPa, existe la posibilidad de que el hidrógeno quede atrapado entre los granos y conduzca a la fragilización. La fragilización por hidrógeno no se evidencia hasta que la pieza ha estado bajo

carga durante algún período prolongado de tiempo, a diferencia de la fragilización por trabajo en frío o tensión, que se observa poco después del galvanizado.

La fragilización por hidrógeno puede evitarse de varias formas.

La forma más obvia es asegurarse de que el diseñador haya elegido acero con una resistencia a la tracción inferior a 1.000MPa. Como se dijo anteriormente, este tipo de aceros tiene granos lo suficientemente grandes como para permitir el escape del hidrógeno atrapado. Cuando es necesario galvanizar acero de alta resistencia, puede utilizarse un proceso de galvanizado modificado para minimizar las posibilidades de fragilización por hidrógeno. En lugar de decapar el acero durante el tiempo normal, se realiza limpieza abrasiva como arenado o granallado, y luego decapado instantáneo durante menos de 30 segundos. El decapado instantáneo es necesario para eliminar cualquier residuo de la limpieza abrasiva. Este procedimiento reduce la cantidad de hidrógeno al que el acero se expone y por lo tanto reduce las posibilidades de que el hidrógeno quede atrapado en los pequeños granos de los aceros de alta resistencia.

La responsabilidad de evitar la fragilización

Las normas ASTM A143 / A143M detallan quién es responsable de evitar la fragilización. La responsabilidad recae en el diseñador, el fabricante y el galvanizador, pero cada parte tiene competencias diferentes. Elegir el acero apropiado para las etapas que forman parte del proceso de galvanizado y un adecuado diseño del componente para evitar la fragilización son responsabilidad del diseñador. El fabricante es responsable de utilizar procedimientos adecuados para evitar la fragilización, como seguir las recomendaciones de radios mínimos y fresado en agujeros en aceros gruesos (como se discutió más arriba). Y finalmente, el galvanizador se encargará de emplear procedimientos adecuados de decapado y galvanizado.

La comunicación entre el diseñador, el fabricante y el galvanizador es la clave.

La comunicación en las etapas de diseño, fabricación y proceso de galvanizado garantizan que se utilicen las mejores prácticas en todos los casos y así se minimizará la posibilidad de fragilización por trabajo en frío o por hidrógeno.



Las fotos de arriba muestran diferentes vistas de la sede de Mobile Telephone Networks (MTN) en Johannesburgo, Sudáfrica, donde se utilizó acero galvanizado por inmersión en caliente en aplicaciones arquitectónicas (ver artículo en la página 51).

FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO EN ELEMENTOS DE FIJACIÓN. PUESTA EN CONTEXTO (2012)

Dificultades para identificar la presencia de fragilización por hidrógeno

Las posibles fallas por fragilización por hidrógeno (HE en inglés) en el acero son particularmente difíciles de probar luego de ocurridas, por las siguientes razones ⁽¹⁾:

1a. La concentración total de hidrógeno en el acero para determinar la presencia de HE es a menudo insignificante porque el hidrógeno es atrapado entre carburos, límites de grano, etc. En realidad, debe medirse el llamado *hidrógeno difusible*, es decir, aquel hidrógeno que tiene la capacidad propagarse entre grietas;

1b. Incluso si se mide el contenido de *hidrógeno difusible*, el “nivel de riesgo” de dicho hidrógeno no es un valor fijo, ya que su efecto varía con la resistencia del acero. En aceros de alta resistencia, niveles tan bajos como 1 ó 2 ppm pueden producir fragilización, mientras que, para un acero de baja resistencia, algunas decenas de ppms podrían no ser niveles de riesgo;

1c. Una vez que los átomos de hidrógeno han hecho su daño, pueden incluso difundirse fuera del acero y sin embargo el daño permanecerá como “descamación” u “ojos de pez”, y más tarde culminará en una falla tardía;

1d. Una fractografía por microscopio electrónico de barrido (SEM) de la cara de la fractura original tampoco es necesariamente concluyente ya después de la fragilización por hidrógeno (HE) con frecuencia estará presente una fractura simple, aparentemente dúctil. Las observaciones de los fractógrafos de un acero HE que a menudo, pero no siempre, muestran fractura intergranular, tampoco son necesariamente características de HE, porque una cantidad de otros mecanismos metalúrgicos también conducen a fracturas intergranulares.

Modelo actualmente aceptado para explicar la fragilización por hidrógeno en aceros

El mecanismo actual más aceptado de fallas por HE es el llamado Modelo HELP ⁽¹⁾ o “Plasticidad Local Mejorada por Hidrógeno”, en el que los átomos de hidrógeno se difunden hacia el área de alta concentración de estrés en el extremo de una grieta, donde contribuyen a la plasticidad durante el avance de la grieta, pero a la vez agotan rápidamente la ductilidad del acero en esa zona, lo que obliga a la grieta a moverse un paso hacia adelante hacia el material “nuevo” donde el proceso se repite. Este mecanismo de parada-inicio del extremo de las grietas produce las llamadas “crestas de desgarro” en los planos de clivaje de estas superficies, en contraste con los planos de clivaje claros en el mismo acero

fracturado por impacto rápido, donde el extremo de la grieta se adelanta a la difusión de átomos de hidrógeno.

Demora de la falla por fragilización por hidrógeno.

Las fallas en los componentes de acero HE a menudo ocurren algún tiempo después de procesado el componente, aunque los tiempos de retraso son usualmente medidos en horas o días y rara vez son más prolongados, porque la difusión del hidrógeno (el más pequeño de todos los átomos) en el acero ferrítico es relativamente rápida y el movimiento de los átomos de hidrógeno hacia el extremo de la grieta es también rápido, incluso a temperatura ambiente.

Fuentes de hidrógeno en la fragilización por hidrógeno

Si se sospecha de HE, hay que considerar de dónde procede el hidrógeno. Si no se determina una fuente factible de hidrógeno, entonces es improbable que se haya producido HE. El hidrógeno puede surgir de la humedad en la chatarra de acero o del cebado de aleaciones maestras durante la fusión del acero o durante galvanoplastia o decapado de un producto terminado. Por esta razón generalmente se emplea la desgasificación al vacío en la fundición de aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA) y se evitan la galvanoplastia y el decapado de dichos aceros para su uso en componentes críticos.

Difusión del hidrógeno durante el tratamiento térmico.

El acero ferrítico tiene una solubilidad muy baja para el hidrógeno y cualquier hidrógeno contenido en el acero tenderá a difundirse fuera del componente si se le permite. Esta propiedad es la base del recocido por difusión en componentes de acero en que se sospecha la presencia de fragilización por hidrógeno.

El proceso de recocido por difusión es un cálculo estándar¹ que tiene en cuenta la distancia **L** del centro a la superficie del componente por donde escapará el hidrógeno, el tiempo **t** a una determinada temperatura **T** y la tasa de difusión **D** para el hidrógeno a la temperatura de recocido. Este último parámetro debe tener en cuenta que el “atrapamiento” de átomos de hidrógeno tiene lugar en carburos, límites de grano, dislocaciones, etc., lo que da como resultado una tasa de difusión *más baja de lo habitual* y, por lo tanto, se utilizan tasas de difusión *efectivas* determinadas experimentalmente.

Tabla 1: Factores de retención calculados para hidrógeno inicial en el acero durante un ciclo típico de recocido, temple y revenido.

Tamaño del perno	Tratamiento en solución: 880°C por una hora		Tratamiento de revenido: 425°C por 45 min		Factor global de retención de hidrógeno (% sobre original)
	D _γ /H cm ² /s	Factor de retención %	D _α /H cm ² /s	Factor de retención %	
M30	1.3 x 10 ⁻⁵	90	1 x 10 ⁻⁴	35	32
M24	1.3 x 10 ⁻⁵	73	1 x 10 ⁻⁴	28	20
M20	1.3 x 10 ⁻⁵	47	1 x 10 ⁻⁴	13	6

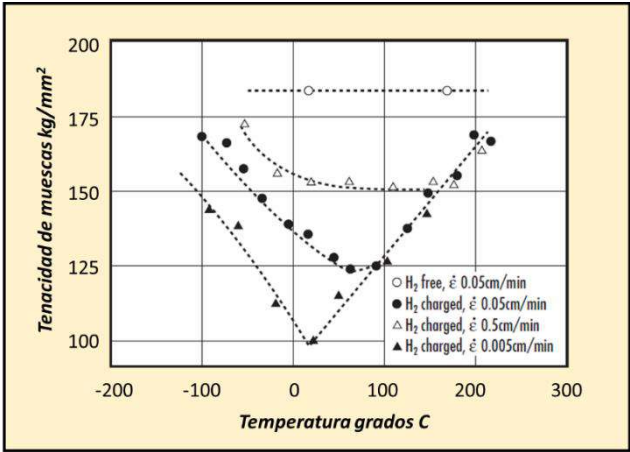


Figura 1: Tenacidad de muescas del acero AISI 4340 en función de la temperatura, para tres tasas de deformación de prueba⁽⁸⁾.

Los elementos de fijación rara vez sufren HE por introducción de hidrógeno en el proceso de fusión y colada debido a que el recocido en solución, templado y revenido, típicos para pernos de alta resistencia, actúan eficazmente como un *recocido de difusión*. Los cálculos para tornillos M30, M24 y M20 durante el tratamiento en solución (el acero es austenítico) y el posterior proceso de templado (el acero es ferrítico) han confirmado los porcentajes típicos de retención de hidrógeno (Tabla 1).

El factor de retención de hidrógeno general significa, para pernos M20 como ejemplo, que si el contenido de hidrógeno en el acero fuera de 2 ppm antes del tratamiento térmico, sólo quedarán 0,06 x 2 ppm después del tratamiento, es decir, sólo quedarán 0,12 ppm. Para pernos M24 y M30, los factores de retención son naturalmente algo mayores, porque las trayectorias de difusión son más largas desde el centro del perno hasta la superficie.

Es por ese motivo que en algunas normas se permite un decapado rápido de los elementos de fijación, siempre que el tiempo de decapado sea menor que el tiempo de galvanizado, donde el hidrógeno captado en el decapado se elimina por temperatura durante la inmersión.

Cuando los elementos de fijación de alta resistencia muestran efectos de HE, generalmente la fuente de hidrógeno no surge del proceso original de fundición, sino más probablemente del entorno en el que opera el componente, o de los procesos superficiales de pretratamiento tales como decapado y/o galvanoplastia. En tal caso, la fractura inducida por HE no se inicia desde el centro o núcleo de la pieza, sino desde su superficie, especialmente en las áreas de concentración de tensión en los hilos de rosca.

Figura 2: Macrofotografías de la falla por HE en “ojo de pez” en un eje de 360 mm fabricado de acero de baja aleación Cr-Ni-Mo-V templado y revenido⁽⁹⁾. **Figuras 3-4:** Fractografías SEM de las áreas de fractura por escisión y hoyuelo de la misma muestra de acero Cr-Ni-Mo-V de baja aleación, templado y revenido, rota recientemente por impacto, que se sabía que contenía hidrógeno en cantidades excesivas. Las flechas blancas señalan algunas de las muchas microfisuras secundarias⁽⁹⁾ **Figuras 5-6:** Fractografías de una prueba con aumento lento de tensión (SSR) sobre el mismo eje de 360 mm de las Figuras 3-4 más arriba. Nótese los “parches” en las áreas de fractura de escisión en medio de las áreas con hoyuelos fracturados en el centro de ambas figuras mostrando claras crestas de desgarro⁽¹⁰⁾ que forman líneas finas en los planos de clivaje⁽⁸⁾. **Figura 7:** ASTM G129: Efecto de la prueba SSR en la Reducción del Área en una muestra de HE⁽²⁾.

Pruebas de fragilización por hidrógeno

Existen varios estándares para probar HE en acero^(2 a 7) como las pruebas de flexión lenta o de aumento lento de tensión y carga escalonada, relativamente comunes. Ambas clases de pruebas se basan en el principio de que los átomos de hidrógeno, con suficiente tiempo, migrarán preferentemente hacia la alta concentración de tensión en el extremo de una grieta en avance y por lo tanto afectarán la ductilidad del acero en esa área, permitiendo que la grieta avance un paso más. Estas pruebas, sin embargo, también tienen algunas limitaciones:

Carga escalonada

En la prueba de carga escalonada se obtendrá una combinación de tensión/fisura crítica alcanzada en algún momento durante el aumento regular en el nivel de estrés (generalmente a diario), lo que llevará a una fractura rápida inducida por HE. La debilidad de este tipo de prueba es que no permite distinguir entre una grieta preexistente (que también se volverá crítica para un cierto nivel de estrés en ausencia de hidrógeno de acuerdo con la Mecánica de Fractura clásica), y la fisura inducida por HE. Este tipo de prueba es, por tanto, adecuado únicamente para indicar la presencia de HE en aquellos casos en los que pueda garantizarse la ausencia de grietas preexistentes.

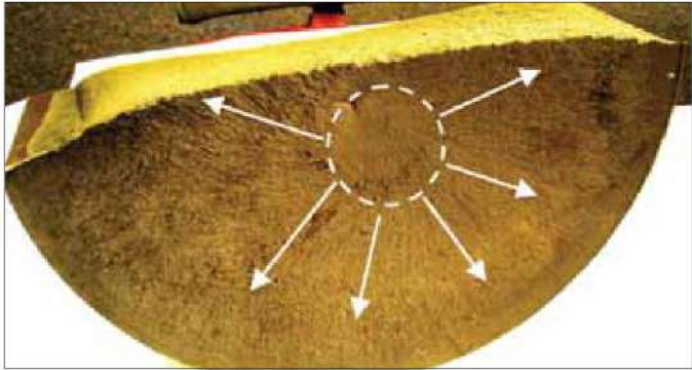


Figura 2

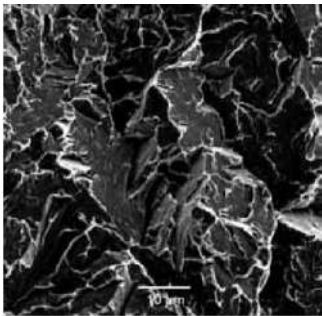


Figura 3

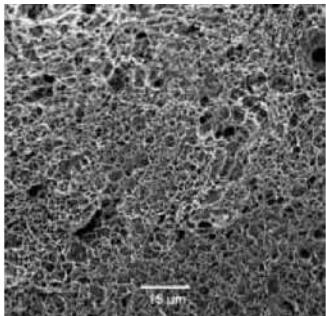


Figura 4

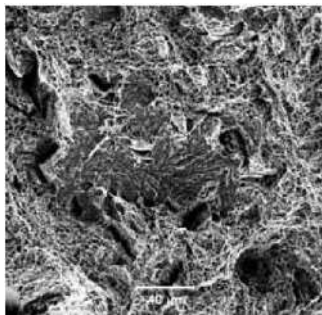


Figura 5

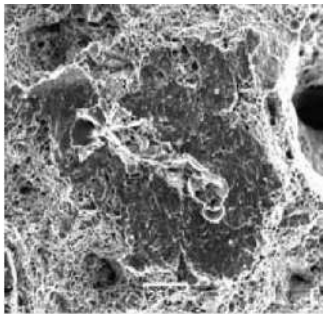


Figura 6

Prueba por aumento lento de tensión

La prueba SSR para HE se basa en mecanismo de “Plasticidad Local Mejorada por Hidrógeno” (HELP) ampliamente aceptada. Consiste en deformar por tracción una probeta de ensayo sospechada de HE, a una velocidad de deformación muy lenta (típicamente 10^{-5} a 1^{-6} s $^{-1}$) hasta su fractura. La velocidad lenta de propagación de grietas permite que los átomos de hidrógeno se difundan hacia el extremo de la grieta donde mejoran la plasticidad local, pero también agotan rápidamente la ductilidad local, extendiendo por lo tanto el extremo de la grieta a una nueva área en la que los átomos de hidrógeno se difundirán una vez más, repitiendo el proceso. Esto provoca que el efecto de parada-inicio en el extremo de la grieta deje las llamadas “crestas de desgarro” en los planos de clivaje en superficies fracturadas lentamente en contraste con los planos de clivaje claros para el mismo acero fracturado por un impacto rápido. La temperatura también juega un papel importante en la fragilización de aceros por hidrógeno, con fragilización más severa a temperatura ambiente y menos severa a temperaturas más bajas o más altas. Este efecto de la temperatura se muestra en la *Figura 1* para un acero AISI 4340 (Fe - 0,4% C - 0,8% Cr - 1,8% Ni - 0,25% Mo). Por esta razón es conveniente realizar la prueba SSR a temperatura ambiente. Nótese la reducción significativa de la resistencia a la tracción de muestra en un acero de baja aleación AISI 4340 templado y revenido si se prueba a velocidad de avance de sólo 0,005 cm/min, en comparación con reducciones de resistencia menos severas en probetas testeadas a velocidades de deformación más altas, ambas muestras cargadas de hidrógeno.

Signos de fractura por HE

Existen varios indicios indirectos para identificar fracturas por HE en aceros:

2a. La fractura generalmente comienza en un llamado “ojo de pez” que se encuentra principalmente en lo profundo o incluso cerca del centro del componente, donde la concentración de hidrógeno será más alta después de cualquier tratamiento térmico. Es, por tanto, poco probable que la fractura se inicie en o cerca de la superficie, donde hay poco o nada de hidrógeno presente después del tratamiento térmico.

2b. HE puede presentar fractografías de hoyuelos o hendiduras, pero muy a menudo muestra grietas secundarias que van desde la cara de la fractura primaria hacia adentro.

2c. Las fractografías de una prueba por aumento lento de tensión (SSR) comparadas a una de fractura rápida, muestran dos indicios, a saber: una mezcla de fracturas de hoyuelos y escisión y “crestas de desgarro” en los planos de clivaje. Nótese los planos de clivaje “limpios” en las Figuras 3 - 4 de una muestra de fractura rápida en comparación con los planos de división llenos de crestas de desgarro de una prueba SSR en las Figuras 5-6, ambos del mismo eje de 360 mm de Cr - Ni - Mo - V.

2d. Finalmente, las pruebas SSR también revelarán un bajo Z (reducción en área) en comparación con una muestra normal sometida a ensayo de tracción, como se muestra en *Figura 7* tomada de la norma ASTM G129 ⁽²⁾ para pruebas de aumento lento de tensión (SSR) para determinar susceptibilidad a HE.

Resumen

Por todos los antecedentes mencionados, resulta evidente que se debe tener precaución para no llegar a una conclusión firme sobre la posible presencia de HE basándose en sólo una o incluso

dos observaciones *que se ajustan a la imagen* sin tener en cuenta el resto, sino que debe adoptarse una perspectiva global, preferiblemente mediante un árbol de decisiones como se propone a continuación para determinar hidrógeno presente en el acero procedente de su fusión y colada:

3a. ¿Existe una fuente identificada de hidrógeno que contamine al acero? Si es así, considere HE;

3b. ¿Había un “ojo de pez” presente en la cara donde se inició la fractura original en el “campo”? ¿La fractura comenzó cerca del centro del componente? (particularmente para fallas lentas que se prolongan durante meses y no ocurren en los tiempos de típicos de pocas horas) En caso afirmativo, sospeche de HE;

3c. ¿Hay una reducción marcada en el valor Z de la prueba SSR (Reducción en Área)? Si es así, se sospeche de HE;

3d. ¿La cara de fractura probada por SSR presenta una mezcla de hoyuelos y crestas de desgarro? Si es así, sospeche fuertemente de HE;

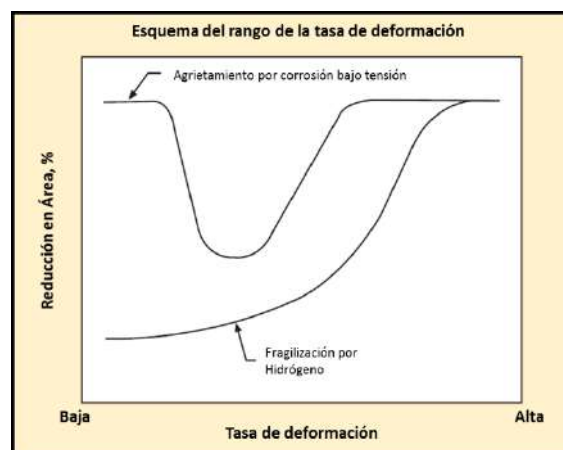
3e. ¿Los planos de clivaje de la muestra sometida a una prueba SSR contienen evidencia de crestas de desgarro mientras que el fracturado rápido tiene planos de clivaje “limpios”? Si es así, HE está confirmada.

En el caso de que la fuente de hidrógeno sea del medio ambiente o del proceso superficial (decapado y/o galvanoplastia) y no de la fusión y colada del acero, el árbol de decisiones anterior sigue siendo aplicable a excepción del paso 3b, mientras que los hallazgos en 3d y 3e deberían ocurrir en o cerca de la superficie del componente, donde puede estar presente el hidrógeno.

Referencias

1. “Hydrogen Embrittlement”, WE Stumpf, Chapter 17 of the advanced post graduate course NHB 700 on the Heat Treatment of Steels, University of Pretoria.
2. Standard ASTM G129 (2006): “Standard Practice for Slow Strain Rate Testing to Evaluate the Susceptibility of Metallic Materials to Environmentally Assisted Cracking”.
3. Standard ASTM F519 (2008) “Standard test method for Mechanical Hydrogen Embrittlement: Evaluation of Plating/Coating Processes and Service Environments”.
4. Standard ASTM F1624 (2009): “Standard Test method for Measurement of Hydrogen Embrittlement Threshold in Steel by the Incremental Step Loading Technique”.
5. BS EN 2831 (1993): “Hydrogen Embrittlement of Steels: Test by Slow Bending”.
6. BS EN 2832 (1993): “Hydrogen Embrittlement of Steels: Notched Specimen Test”.
7. ISO 15530 (1999): “Fasteners: Pre-loading test for the detection of hydrogen embrittlement by the parallel bearing method”.
8. BA Graville, RG Baker and F Watkinson, *British Welding Journal*: 14 (1967) p 337.
9. Case Study: WE Stumpf, (2008).
10. Metals Handbook, Vol 12 Publ ASM (US), p293-307

Figura 7



S6 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN APLICACIONES MINERAS

GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE
USOS EN MINERÍA EN SUDÁFRICA (2014)

La participación de la Asociación de Galvanizadores por Inmersión en Caliente de Sudáfrica (HDGASA) en la promoción y uso directo o indirecto del Galvanizado por Inmersión en Caliente en diversas aplicaciones mineras incluyendo oro, platino, mineral de hierro y carbón y el impulso futuro de su uso en la industria petroquímica en Sudáfrica

Resumen

Este artículo describe la minería de profundidad y la corrosividad de su medio en Sudáfrica. Reflexiona sobre la historia de la minería en Sudáfrica durante los últimos 50 años y a continuación presenta una serie de casos que incluyen plantas concentradoras de platino, minas de carbón y una planta de refinado de mineral de hierro. También se menciona la posibilidad de utilizar Galvanizado por Inmersión en Caliente en las futuras Plantas Petroquímicas.

El documento presenta la Asociación de Galvanizadores por Inmersión en Caliente de Sudáfrica (HDGASA) y el papel directo o indirecto que la organización ha tenido en el desarrollo y aceptación del sistema de Galvanizado por Inmersión en Caliente y revestimiento Dúplex en la industria minera.

Aunque el impulso de la Asociación ha incluido a la mayoría de las empresas mineras, Anglo American, AngloGold Ashanti, Anglo Coal, Amplats y Particularmente Kumba Iron Ore, han especificado y utilizado extensamente este revestimiento con resultados considerablemente exitosos.

La minería de nivel profundo incluye oro y platino, etc., mientras la minería a cielo abierto incluye carbón, mineral de hierro, etc.

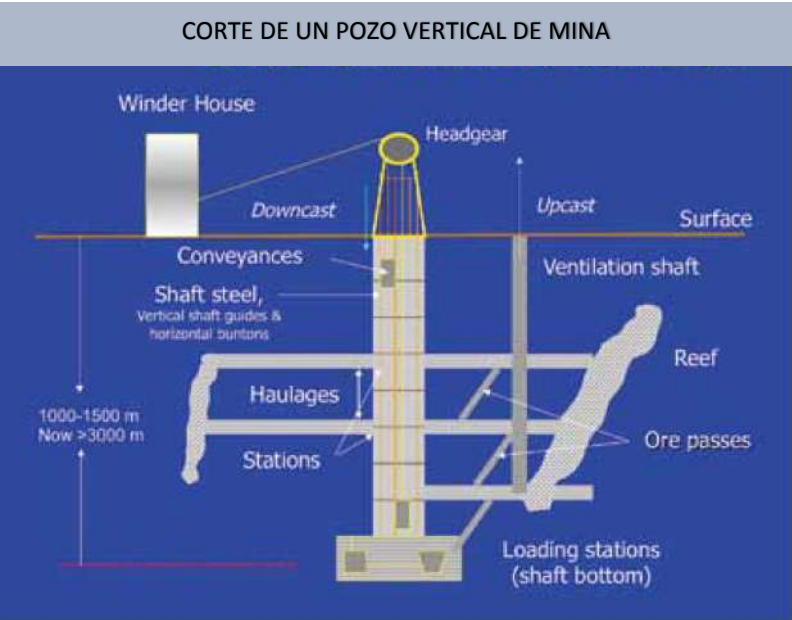
El artículo concluye con referencias sobre el uso de Galvanizado por Inmersión en Caliente en Anglo Platinum, Anglo Coal y Kelloggs Brown and Root (KBR), de Houston, Texas.

Visión general

- Introducción.
- Información histórica sobre la minería en Sudáfrica, Galvanizado por Inmersión en Caliente y sistemas de revestimiento Dúplex.
- La Asociación de Galvanizadores por Inmersión en Caliente de Sudáfrica (HDGASA) y sus miembros.
- Algunas referencias a casos, incluidas dos fundiciones de platino, varias explotaciones mineras y una planta de refinado de mineral de hierro.
- Evidencia del desempeño del Galvanizado por Inmersión en Caliente en una planta petroquímica costera y la posibilidad de su uso futuro.
- Referencias de Amplats (Anglo Platinum Management Services), Anglo Coal y Kelloggs Brown and Root (KBR) en el uso y beneficios del Galvanizado por Inmersión en Caliente en plantas petroquímicas.
- Conclusión.

Introducción

Las minas de oro y platino de Sudáfrica generalmente utilizan pozos verticales de una o múltiples etapas, que se extienden a profundidades de entre 500 m y 4000 m bajo tierra (fotos 1 y 2). En minería de poca profundidad, son más típicas las galerías inclinadas, que se extienden a longitudes de 1000 m y profundidades de entre 200 y 600 m bajo tierra.



1



2



3



4

Foto 1: sección transversal de un pozo de mina vertical de más de 3000 m. de profundidad. **Foto 2:** cabezal típico de mina profunda. **Fotos 3-4:** condiciones ambientales típicas en un pozo, más corrosivas cuanto mayor es la profundidad. **Fotos 5-6:** el pozo vertical proporciona un acceso continuo para hombres, materiales, maquinaria y mineral, con un rendimiento libre de mantenimiento de más de 25 años, requerido para minimizar tiempos de inactividad. Las fotos 5 y 6 muestran guías pozo (izquierda) y vigas horizontales y sus elementos de fijación (derecha) galvanizados por inmersión en caliente. Nótese el revestimiento adicional de pintura en las hendiduras y sobre los elementos de fijación.

Independientemente del tipo de pozo utilizado, las condiciones ambientales son en general altamente corrosivas y se vuelven aún más corrosivas a medida que aumenta la profundidad (fotos 3 y 4). Estas condiciones se deben a la presencia de aguas corrosivas en fisuras, altos niveles de humedad, humos y gases corrosivos, así como minerales corrosivos y abrasivos. Además, se desarrollan celdas de corrosión debido a la acumulación de escombros en puntos de captura y grietas, incluyendo superficies internas de componentes huecos de acero.

Es indispensable una especificación de diseño aplicable a todas las galerías de la mina (que proporcionan acceso continuo para hombres, materiales, maquinaria y mineral) y toda la estructura de acero de soporte terciario, independientemente de las condiciones ambientales o del tipo de sistema de control de corrosión empleado, a fin de lograr una vida útil prolongada y segura, con un rendimiento libre de mantenimiento de 25 a 30 años y tiempos previstos de inactividad mínimos (fotos 5 y 6).

Panorama histórico

La primera mina en galvanizar el acero por inmersión en caliente para pozos y galerías fue President Brand en el Estado Libre, alrededor de 1957. Utilizaron un sistema Dúplex compuesto por Galvanizado por Inmersión en Caliente y pintura epoxi de alquitrán de hulla que resultó singularmente exitoso. Aparte de esto, el uso de Galvanizado por Inmersión en Caliente se limitaba principalmente a columnas de bombas de alta presión y tubería de diámetro medio a pequeño.

Aproximadamente en 1972, se adoptó un enfoque activo para promover el Galvanizado por Inmersión en Caliente en la industria minera del oro, especialmente para su uso en aplicaciones bajo superficie.

El primer éxito fue el pozo Kinross No. 2 donde su mitad inferior se revistió mediante sistema Dúplex.

Esto pronto fue imitado por otras minas con un avance alentador en la industria minera de oro de Anglo American, donde los componentes de acero de los pozos fueron galvanizados, entre otros, para President Brand, President Steyn, Freestate Geduld, Elandsrand y Pozo Vaal Reefs No. 8.



5



6

Todos los elementos de fijación se revistieron completamente para mejorar la protección contra la corrosión

Poco después, Johannesburg Consolidated Investments (JCI) adoptó el galvanizado para los nuevos pozos de los complejos Randfontein Estates y Joel Mine.

La siguiente fase fue introducir el Galvanizado por Inmersión en Caliente en minas de platino, donde se encontró considerable resistencia y escepticismo. Rustenburg Plats fueron los primeros convencidos (el pozo No. 2 de Amandabult y el pozo Spud son dos ejemplos). Luego siguieron Impala Platino y una gran cantidad de otras instalaciones mineras, incluyendo plantas concentradoras de platino, minas de carbón y plantas de refinado de mineral de hierro.

Lamentablemente, debido a la falta de tiempo y personal desde la perspectiva de la HDGASA, el rendimiento del sistema de revestimiento seleccionado en una serie de estas aplicaciones de minería profunda no ha sido adecuadamente supervisado. No obstante, Moab Khotsoeng, una mina de oro a unos 120 km al sudeste de Johannesburgo, equipada con aproximadamente 6.700 toneladas de acero galvanizado por inmersión en caliente para una galería de más de 3 km de profundidad, se monitoreó apropiadamente durante 20 años desde su inicio, con buenos resultados. Estos resultados se documentaron en dos artículos (ver Referencias y Agradecimientos).

La Asociación de Galvanizadores por Inmersión en Caliente de Sudáfrica y sus miembros

Razón de ser de la Asociación

La misión principal de la Asociación es desarrollar y ampliar la demanda de Galvanizado por Inmersión en Caliente y sistemas Dúplex como tecnologías viables y económicas para el control de la corrosión.

Nuestro principal objetivo es VENDER el concepto de Galvanizado por Inmersión en Caliente directamente a los usuarios finales y a los responsables de la toma de decisiones, en beneficio de nuestros miembros, de los usuarios finales y de todas las partes interesadas.



7



8



10



11



12



13

9 Republic of South Africa



Fotos 7-8: El galvanizador juega un papel vital en los revestimientos de buena calidad y en el buen servicio. **Figura 9:** Mapa que muestra la ubicación de los casos de estudio en Sudáfrica. **Fotos 10-13:** Apariencia del sistema de 3 capas después de 5 años de servicio en Bafokeng-Rasimone PCP, mientras que el espesor de capa residual en el perno galvanizado en caliente es de 128 μm ; un revestimiento galvanizado en caliente dañado; espesor del revestimiento en una tubería de agua galvanizada en caliente: 59 μm (tubo galvanizado en caliente según EN 10240) y espesor del revestimiento en el área dañada: 61 μm . **Fotos 14-15:** Fotografías iniciales de las 6.500 toneladas de superestructura de acero galvanizado por inmersión en caliente en la planta concentradora de platino de Bafokeng-Rasimone.

14



15



Entrevistas, presentaciones, visitas técnicas a plantas y cursos técnicos

Las entrevistas iniciales a personas dentro de una empresa generalmente darán como resultado una presentación técnica de seguimiento y posiblemente un recorrido por la planta a otro personal técnico de esa empresa. Las visitas de seguimiento frecuentes a empresas infunden confianza y seguridad. Las presentaciones pueden ser extremadamente valiosas si están dirigidas a la audiencia correcta, por ejemplo, tomadores de decisiones y especificadores. El éxito de una presentación normalmente se mide por el tiempo dedicado a las preguntas y a la discusión, y no necesariamente por la mera presentación formal. En este sentido, los cursos de formación y seguimiento también son considerablemente valiosos.

Conocimientos técnicos

El personal técnico de la Asociación debe tener un conocimiento profundo de la tecnología de la corrosión y cómo reducir su impacto. Debe estar técnicamente calificado para poder discutir sobre los productos de la competencia sin agraviarla. Debe poseer un conocimiento profundo del Galvanizado por Inmersión en Caliente y sus propiedades de control de la corrosión, tanto sus fortalezas como sus debilidades. Recomendar el Galvanizado por Inmersión en Caliente donde no es apropiado es una receta segura para el fracaso.

Afiliación

La membresía de HDGASA incluye a galvanizadores por inmersión en caliente de tipo general o por lotes, centrífugas, tubos, galvanizado continuo de chapa y alambre, distribuidores, así como afiliados corporativos, profesionales, miembros individuales e internacionales que tengan un interés personal en la industria en su conjunto.

En situaciones de disputa, siempre que sea posible, la Asociación desempeña el papel de respaldo imparcial a sus miembros. Todos los miembros de la Asociación se obligan a brindar a los clientes un servicio comprometido, confiable y profesional y adhieren al Código de Ética de la Asociación. La Declaración del Código de Ética incluye las buenas prácticas comerciales entre los miembros y sus clientes.

La Asociación publica literatura promocional, como la Guía de Protección del Acero, las Pautas Prácticas para la Inspección y Reparación de Revestimientos Galvanizados por Inmersión en Caliente, el Gráfico Mural de Diseño y la revista trimestral "Hot Dip Galvanizing Today" que se envía a los especificadores, usuarios y miembros de la Asociación. La Asociación también administra el sitio web informativo www.hdgasa.org.za.

El papel del galvanizador

Con el mayor respeto, es necesario enfatizar la importancia vital de un buen servicio y una buena calidad de revestimiento. No haber conseguido esto en un único despacho de un solo galvanizador podría comprometer meses e incluso años de intenso esfuerzo de promoción por parte de la Asociación. En mercados en desarrollo como Sudáfrica hay numerosos escépticos que aún no están convencidos de las ventajas del Galvanizado por Inmersión en Caliente (fotos 7 y 8).

Casuística

Bafokeng-Rasimone (planta concentradora de platino)

El uso de Galvanizado por Inmersión en Caliente para acero estructural y equipos en plantas metalúrgicas es mucho menos común que su uso en pozos mineros profundos e inclinados,

debido principalmente a preocupaciones con respecto a su desempeño a largo plazo en el entorno "químico" percibido de una planta metalúrgica. Las plantas metalúrgicas de la industria minera son de naturaleza diversa, incluidas, por ejemplo, plantas de oro CIP que utilizan ácido clorhídrico, cobre y metales del grupo del platino (PGM) y plantas de manipulación de gas con entornos ricos en dióxido de azufre, plantas de ácido sulfúrico y refinerías de metales preciosos que utilizan ácido sulfúrico o clorhídrico.

En principio, en este tipo de plantas la elección del Galvanizado por Inmersión en Caliente no se consideraría apropiada debido al rápido ataque esperable sobre el revestimiento de zinc en condiciones ácidas. Sin embargo, los entornos de muchos otros tipos de plantas metalúrgicas podrían considerarse benignos ya que, aparte de algunos reactivos ácidos y alcalinos, generalmente en pequeñas cantidades, sus líneas de procesamiento se encuentran cerca de valores neutros de pH. Los concentradores PGM son ejemplos típicos de este tipo de plantas. Uno de los problemas en el desarrollo del mercado de Galvanizado por Inmersión en Caliente ha sido que los propietarios y especificadores han tendido a clasificar todos los tipos de plantas metalúrgicas con el mismo tipo de entorno químico y por lo tanto han elevado de forma poco realista el riesgo de utilizar galvanizado en muchos de estas aplicaciones.

Durante las investigaciones para caracterizar los parámetros para el uso de Galvanizado por Inmersión en Caliente en condiciones subterráneas, Anglo Platinum también investigó la viabilidad de usar galvanizado para plantas concentradoras de platino. El acero galvanizado por inmersión en caliente se introdujo gradualmente como material de construcción para bandejas porta cables, pisos, peldaños de escaleras y pasamanos en proyectos nuevos, de mantenimiento y de reemplazo, y su desempeño fue cuidadosamente monitoreado. Alternativas de protección contra la corrosión, como revestimientos de pintura epoxi y vinílica sobre acero, revestimientos en polvo epoxi y la aleación resistente a la corrosión 3CR12 fueron también objeto de estudio. En todas estas investigaciones fue evidente que el acero galvanizado por inmersión en caliente era la opción superadora en términos de rentabilidad durante el ciclo de vida de la planta. El éxito del Galvanizado por Inmersión en Caliente medido y evaluado en estas investigaciones brindó el grado de confianza requerido para la especificación de este método de protección contra la corrosión en numerosos proyectos nuevos que está llevando a cabo Anglo Platinum como parte de su programa de expansión, el primero de los cuales fue la construcción de la mina de platino Bafokeng-Rasimone ubicada 25 km al norte de Rustenburg, en North West Province, en 1997.

Los siguientes párrafos describen el rendimiento del Galvanizado por Inmersión en Caliente utilizado en Bafokeng-Rasimone durante un período de servicio de cinco años.

Rendimiento global

En términos generales, el rendimiento del acero galvanizado por inmersión en caliente, instalado tanto en entornos subterráneos como en plantas, ha sido excepcionalmente bueno. Aparte de la protección completa del acero, la tasa de deterioro del revestimiento de zinc ha sido extremadamente baja. Las mediciones de espesor no han podido detectar ninguna pérdida de zinc y el acero está prácticamente en las mismas condiciones que cuando se instaló. Si bien la vida útil proyectada para el galvanizado por inmersión en caliente se fijó en 25 años, es evidente que, aparte de cualquier circunstancia imprevista que



16



17



18

Fotos 16-19: Vistas de la Fundición de Platino Marula y el acero estructural galvanizado por inmersión en caliente, incluida la estructura del transportador desde un túnel inclinado hasta las diferentes plantas de procesamiento en la mina.



19

surja en el futuro, la vida de servicio del acero galvanizado por inmersión en caliente superará con creces la vida útil prevista.

El área de reactivos

Debido a las preocupaciones y dudas, así como falta de datos con respecto al rendimiento a largo plazo del acero galvanizado por inmersión en caliente en el área de reactivos, por la presencia de cantidades relativamente pequeñas de productos alcalinos y ácidos, la especificación para el acero de esta área no incluyó el galvanizado, seleccionándose en su lugar un sistema de pintura orgánica convencional. Se usó un sistema de copolímero de vinilo de tres capas sobre un grado de preparación de superficie SA 2½ (fotos 10-13). El desempeño del sistema de pintura ha sido marginal y requerirá reemplazo o mantenimiento, en el mejor de los casos, cada dos años. Aunque no se utilizó galvanizado por inmersión en caliente en esta área, se galvanizaron ciertos elementos menores como tuberías de agua y pasamanos, que sirven para proporcionar algunos datos de rendimiento del acero galvanizado en ese entorno. Es interesante notar que estos pequeños elementos galvanizados se han desempeñado notablemente bien e indican que en la planta de BRM, el uso de Galvanizado por Inmersión en Caliente habría sido una mejor opción al sistema de pintura que se utilizó. Dado que los reactivos metalúrgicos a menudo cambian o se modifican a medida que cambian los parámetros del proceso, sería más prudente utilizar un sistema de revestimiento Dúplex en estas

Fotos 20-21: La agresividad del medio ambiente en la planta de lavado de carbón Twistdraai Colliery. **Fotos 22-23:** El espesor total del revestimiento del sistema de un sistema Dúplex de 336 µm y 378 µm respectivamente.



20



21



22



23

áreas. También debe tenerse en cuenta que diferentes concentradores de platino a menudo utilizan un conjunto diferente de reactivos y, en consecuencia, para cada planta específica, deberán realizarse pruebas antes de confirmar la idoneidad del acero galvanizado por inmersión en caliente.

Se llevó a cabo una evaluación similar del galvanizado por inmersión en caliente después de 10 años y los resultados fueron casi idénticos a los de la inspección anterior (fotos 14 y 15).

Fundición de platino Marula

Breves antecedentes

Marula Platinum Limited (Marula) pertenece en un 73% a Implats y es una de las primeras operaciones que se ha desarrollado en la rama oriental, relativamente poco explotada, del complejo Bushveld en Sudáfrica. Se encuentra en la provincia de Limpopo, a unos 50 kilómetros al norte de Burgersfort.

El establecimiento y desarrollo de la mina, que requirió una inversión considerable por parte de Implats, tanto en infraestructura como en medidas de protección ambiental, comenzó en octubre de 2002.

Las actividades mineras actuales apuntan sólo al arrecife UG2, al que se accede a través de dos pendientes, Clapham y Driekop, separadas por 1,3 kilómetros. Las pendientes se socavaron en el arrecife desde su afloramiento con una inclinación menor a 9,5 grados, cada una con tres portales de entrada.

La planta metalúrgica que se puso en servicio en febrero de 2004 consta de un concentrador y una planta de separación de medios densos (DMS) (fotos 16 - 19).

Twistdraai Colliery

La empresa

La mina y la planta de lavado Twistdraai forman parte del complejo Secunda Collieries de Sasol Mining. Ubicada en el campo de carbón de Highveld, al este de Johannesburgo, la mina se inauguró en 1980 para producir carbón para la planta de síntesis Secunda de Sasol, y desde 1995 es un complejo de tres pozos que produce carbón vapor de baja ceniza para el mercado de exportación, así como harinilla para pienso.

24



26



Foto 24-25: La mina Douglas Colliery (foto 24) y el transportador V3, expuestos al medio ambiente durante más de 20 años (foto 25). **Fotos 26 - 27:** Algunos valores típicos de espesor de revestimiento (298 y 234 μm respectivamente).



25



27



28



29

Fotos 28-30: Tres vistas del proyecto de ampliación Douglas Middelburg Optimization (DMO), incluida la estación de trituración primaria (foto 28), 26 km de transportadores (foto 29), el apilador circular Schade y el recuperador del apilador de portal (foto 30), finalizado en 2010. **Foto 31:** Una vista de la estación de trituración primaria (punta ROM), el molino rotativo y los transportadores de la planta en Klipspruit Colliery terminados en 2009.



30



31



32



33



34

Fotos 32 - 34: Vistas de los transportadores de Isibonella Colliery. Foto 35: Torre de transferencia. Foto 36: Torre de transferencia y tolva.



36



35



37



Foto 37: Goedehoop Colliery después de 17 años de exposición. Foto 38: Torre de transferencia. Foto 39: Lavadora de carbón. Foto 40: Revestimiento Dúplex con trazos cruzados. Fotos 41-42: Espesor total del revestimiento 337 μm y espesor del revestimiento galvanizado por inmersión en caliente 123 μm . Nótese que la pintura tuvo que quitarse para medir el espesor del galvanizado.



38



39



40



41



42

Eficacia

Existe una percepción que sugiere que no se puede aplicar Galvanizado por Inmersión en Caliente dentro de una mina de carbón. El Galvanizado por Inmersión en Caliente se ha utilizado ampliamente a lo largo de los años en transportadores, tanto terrestres como subterráneos. En condiciones corrosivas muy severas, como en una planta de lavado de carbón, se ha aplicado Galvanizado por Inmersión en Caliente más un adecuado sistema protector de pintura, con excelentes resultados.

Condiciones ambientales

En términos de la norma ISO 9223 las condiciones corrosivas dentro de la planta de lavado de carbón Twistdraai se clasificarían como un ambiente C5. En otras palabras, una de las condiciones corrosivas más extremas tipificadas por esa norma. Las fotografías 20 y 21 ilustran cabalmente las condiciones corrosivas presentes en la planta de lavado.

El sitio

Este caso de estudio analiza el rendimiento de un sistema Dúplex en la planta de lavado de carbón Secunda Twistdraai de Sasol. El carbón se entrega desde la mina a la planta de lavado donde, después de su procesamiento, se envía a los usuarios finales.

Nuestros hallazgos

Durante la inspección del sitio, se tomaron alrededor de 53 lecturas diferentes de espesor general de revestimiento, con los siguientes resultados: espesor máximo 888 µm, espesor promedio del revestimiento 388 µm, espesor mínimo 277 µm.

En términos generales, el acero estructural junto con el sistema Dúplex se encontró en excelentes condiciones. Se informó que el sistema de revestimiento se había aplicado hace aproximadamente 4 años. Además, se ha realizado una inspección anual destinada a controlar su rendimiento.

Conclusión

El sistema de revestimiento Dúplex aprovecha las fortalezas del Galvanizado por Inmersión en Caliente y de los revestimientos de pintura seleccionados para generar un *desempeño sinérgico*, que es rentable si se toman en consideración el *análisis de valor* y los costos de mantenimiento a largo plazo. El sistema está proyectado para proporcionar una vida útil prolongada en entornos corrosivos severos. Un factor crítico para el éxito del rendimiento del revestimiento es la preparación de la superficie. Por lo tanto, la misma debe incluirse en la especificación, y controlarse adecuadamente en el momento de la aplicación (fotos 22 y 23).

Douglas Colliery

La empresa

Douglas Colliery (foto 24) está situado cerca de Van Wyks Drift en Mpumalanga y actualmente es de propiedad privada.

Eficacia

Dado que los transportadores terrestres son el elemento vital del suministro de material utilizado en muchas plantas de proceso, la falta general de mantenimiento del revestimiento debido a la presencia de polvo y a la dificultad para la preparación adecuada de la superficie para la pintura de mantenimiento, junto con su longitud a menudo extraordinaria, sugiere la conveniencia de utilizar un material o revestimiento que pueda ofrecer muchos años de vida útil sin necesidad de mantenimiento.

Los transportadores terrestres V3, V4 y V5 en Douglas Colliery son sistemas de este tipo (foto 25). Reportado por primera vez en el prólogo de nuestro folleto inaugural, "Protección del acero

por Galvanizado por Inmersión en Caliente y sistemas Dúplex", el original del cual se publicó en enero de 1997, se estimó que estos transportadores, al momento de la inspección, tenían más de 20 años. Mientras el revestimiento galvanizado por inmersión en caliente todavía tiene un rendimiento admirable, los revestimientos de los soportes de las ruedas, que están pintados, y de los elementos de fijación electro cincados, presentan condiciones de falla.

Condiciones ambientales

Desde el punto de vista de la corrosión atmosférica, las condiciones actuales son probablemente las de una categoría C2 de la norma ISO 9223 (Interior - Condensación ocasional. Exterior - Continental rural expuesto), lo que sugiere que la tasa de corrosión del zinc es de aproximadamente 0,1 a 0,7 µm por año. Además de las condiciones atmosféricas generales, el polvo de carbón y particularmente las cenizas de carbón, junto con la humedad, serán corrosivos para el zinc y, por lo tanto, el revestimiento puede ser propenso a un ataque corrosivo más severo.

Las condiciones observadas en la inspección indican que la corrosión del zinc es lenta y que es probable que el revestimiento galvanizado por inmersión en caliente continúe funcionando, de tal manera que se ha convertido en la pauta esperada por la mayoría de los especificadores para el uso de acero galvanizado por inmersión en caliente.

Nuestros hallazgos

Después de analizar varias secciones de la estructura de acero de los transportadores V3, V4 y V5, encontramos que el revestimiento galvanizado por inmersión en caliente en los soportes horizontales y verticales se encuentra en excelentes condiciones, con valores de entre 117 y 279 µm y un espesor medio de 140 µm. Las lecturas del espesor del revestimiento siguen superando con creces a las requeridas por la norma ISO 1461 para este espesor de acero. En total, se tomaron 108 lecturas de espesor de revestimiento en la estructura de acero de soporte.

Conclusión

El revestimiento galvanizado por inmersión en caliente de la estructura de acero del transportador terrestre se ha desempeñado excepcionalmente bien durante un período de 20 años y, según el espesor del revestimiento residual, proporcionará entre 40 y 60 años más de vida sin mantenimiento. Si se requiere, los soportes pintados de las ruedas, que muestran signos de corrosión, podrían desmontarse selectivamente, limpiarse por abrasión para eliminar la capa de pintura residual y luego galvanizarse por inmersión en caliente, proporcionando una capa duradera y predecible de vida útil prolongada sin mantenimiento. Todos los elementos de fijación deberían reemplazarse a corto plazo con sus equivalentes galvanizados por inmersión en caliente (ver fotos 26 y 27).

Optimización de Douglas Middleburg (DMO)

Este proyecto llave en mano para la empresa BHP Billiton incluyó 26 km de transportadores, una estación de trituración primaria, recuperador de apiladores circulares y recuperador de apiladores de portal Schade, Civils, C&I y subestaciones. Se construyó en 2010 y toda la estructura de acero se galvanizó por inmersión en caliente (fotos 28 - 30).

Klipspruit Colliery

Este proyecto llave en mano para la empresa BHP Billiton incluía



43



44

Fotos 43–46: El proyecto de ampliación de Sishen, que incluyó unas 22.000 toneladas de galvanizado por inmersión en caliente en componentes de acero para el proceso y transportadores.



45



46

una estación de trituración primaria (punta ROM), un molino rotativo y 6 transportadores de planta. Construida en 2009, toda la estructura de acero fue galvanizada por inmersión en caliente según ISO 1461 (foto 31).

Isibonella Colliery

Ubicación

Isibonella Colliery se encuentra aproximadamente a 120 km al este de Johannesburg, cerca de Secunda, en Mpumalanga.

Breve historia

Anglo Coal y Sasol Mining celebraron un acuerdo contractual en octubre de 2003 para desarrollar conjuntamente el área de la Reserva Kriel South. En virtud del acuerdo, Anglo Coal se comprometió a establecer Isibonella Colliery, una operación a cielo abierto, para abastecer la planta de Combustible Sintético de Sasol (SSF) en Secunda. En noviembre de 2003 comenzaron los trabajos de construcción y el primer carbón se suministró a SSF en julio de 2005.

Isibonella Colliery fue diseñada para suministrar a SSF aproximadamente 5 millones de toneladas / año durante un período de 20 años (fotos 32 - 36).

Goedehoop Colliery

La compañía

Goedehoop es una empresa Anglo Coal ubicada en el área de Witbank en Mpumalanga (foto 37).

Eficacia

Goedehoop Colliery existe desde principios de los años ochenta. Aproximadamente en 1995, la mina se embarcó en varias ampliaciones, una de ellas a la torre de transferencia (foto 38), la instalación de lavado de carbón (foto 39) y el sistema transportador de suministro de material.

Debido a fallas anteriores en el revestimiento de pintura, se aconsejó al personal de administración de la mina la utilización de un sistema de revestimiento Dúplex para proteger el acero. El sistema sugerido comprendía un revestimiento epóxico de una sola capa de alto espesor aplicada al acero galvanizado por inmersión en caliente y granallado de acuerdo con el Código de Práctica HDGASA-01:1990 de la Asociación de Galvanizadores en por Inmersión Caliente de Sudáfrica para la preparación de

superficies y la aplicación de revestimientos orgánicos.

Condiciones ambientales

Las instalaciones de lavado de carbón son ambientes relativamente agresivos, debido a la combinación de polvo de carbón y agua.

Nuestros hallazgos

Aunque funcionó durante varios años, se encontró que la antigua planta de lavado tenía varias fallas de revestimiento. Los revestimientos en estas condiciones son extremadamente difíciles de mantener a menos que se paralice toda la operación.

El sistema de revestimiento Dúplex en la estructura de acero en la nueva área está en condiciones excepcionales, tanto que hubo que quitar parte del revestimiento orgánico para poder evaluar su adherencia y el estado general del revestimiento subyacente de galvanizado por inmersión en caliente.

Conclusión

La evaluación se realizó después de 10 años de servicio. El sistema de revestimiento Dúplex se encontró en condiciones excepcionales y tuvo que quitarse intencionalmente para evaluar y medir el espesor del revestimiento galvanizado por inmersión en caliente (fotos 40 - 42). En comparación, el revestimiento de pintura de los pasamanos de acero al carbono en la instalación de lavado de carbón había fallado.

Planta de refinado de mineral de hierro de Sishen

La compañía

Kumba Iron Ore, sucesor de Kumba Resources, es el cuarto mayor productor de mineral de hierro del mundo y posee el 74% de Sishen Iron Ore Company.

Ubicación

Sishen Iron Ore Company está situada hacia el interior continental del Cabo Norte.

Ampliación de la planta

La ampliación de la planta incluyó unas 22.000 toneladas de acero galvanizado por inmersión en caliente en diversas formas, incluidos transportadores de gran porte.

Después de la instalación, el polvo de óxido de hierro alteró el color del revestimiento gris plateado del galvanizado por

inmersión en caliente a un color marrón rojizo que parecería formar un revestimiento Dúplex natural (fotos 43 - 46).

Petro SA

La compañía

La Corporación de Petróleo y Gas de Sudáfrica (Petro SA) es una subsidiaria de propiedad total de CEF, y sus principales actividades incluyen la exploración y producción de petróleo crudo y gas natural frente a la costa sudeste de Sudáfrica.

La refinería de Petro SA fue encargada como "Mossgas" en 1987. Esta es una de las refinerías de Gas a Líquido (GTL) más grandes del mundo y siempre ha sido líder en el desafío de comercializar productos GTL. Petro SA se formó en julio de 2000 a partir de la fusión de las unidades de negocios de Mossgas y Soekor para desarrollar y explotar eficazmente los recursos de petróleo crudo e hidrocarburos gaseosos de Sudáfrica.

Ubicación

Petro SA está situada a unos 2,5 a 3 km desde la costa y a unos 13 km al oeste del distrito comercial central de Mossel Bay.

Eficacia

Durante una inspección del sitio para determinar el estado de ciertos sistemas de pintura que estaban en discusión, se inspeccionaron varias escaleras y bandejas porta cable galvanizadas por inmersión en caliente y se halló que estaban en excelentes condiciones. Estas bandejas porta cable se habrían instalado al inicio de la planta. Como los espesores de revestimiento resultantes no pudieron fotografiarse como prueba de su desempeño por razones de seguridad y protección, se decidió evaluar los mástiles de iluminación galvanizados por inmersión en caliente en el perímetro exterior de la planta y, en caso de encontrarse en condiciones aceptables, elaborar un informe para su publicación, ya que existe la posibilidad de que se construya una nueva refinería de petróleo Mthombo en el puerto de Coega, en una posición similar a la de Mossgas en relación a la costa.

Los mástiles de iluminación perimetral de Petro SA en Mossel Bay han estado expuestos al medio ambiente desde el inicio de la planta en 1987, por lo que tienen unos 25 años. Debido a algunos malentendidos sobre la posibilidad de fragilización por metal líquido en el acero estructural durante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para plantas petroquímicas, el informe se envió finalmente por correo electrónico a Richard Rood P.E. - Revestimientos, Aislamientos e Ignífugos, KBR Ingeniería, Houston, Texas, solicitando sus comentarios (fotos 47 - 50).

Respuesta de KBR con respecto a nuestra consulta sobre fragilización por metal líquido:

De: Richard Rood PE - KBR Ingeniería

Asunto: Galvanizado por Inmersión en Caliente en Petro SA

Aunque la fragilización por metal líquido (LME) puede ocurrir en ciertas aleaciones y bajo ciertas condiciones, no ha sido un problema para el acero estructural. La práctica estándar de KBR en casi todos los proyectos petroquímicos durante los últimos 60 años ha sido galvanizar por inmersión en caliente todo el acero estructural, incluyendo el acero de las plataformas, pasamanos, escaleras, jaulas, rejillas, etc. Las únicas excepciones en que recomendamos la pintura y no Galvanizado por Inmersión en Caliente en acero estructural son:

1a. Pernos de alta resistencia galvanizados mecánicamente para evitar la fragilización por hidrógeno,

1b. Grandes estructuras de acero soldadas (por ejemplo, acero modular que no cabe en crisoles de galvanizado),

1c. Acero fabricado e instalado en países que no tienen plantas de galvanizado, aunque requerimos que todo el acero de las plataformas, pasamanos, escaleras, jaulas, rejillas, etc. estén galvanizados por inmersión en caliente.

1d. Aplicaciones especiales que requieran proyección térmica de aluminio o zinc-aluminio (85/15) con selladores.

Las desventajas de los revestimientos de pintura son:

2a. El mantenimiento de los elementos enumerados anteriormente es extremadamente difícil, si no imposible.

2b. Los revestimientos de pintura se dañan fácilmente durante el transporte, manipulación y montaje, requieren retoques en obra.

2c. Los revestimientos de pintura tienen una esperanza de vida considerablemente menor al galvanizado por inmersión en caliente.

2d. Los revestimientos de pintura son más costosos, aumentan el costo financiero real (TIC) y los costos de mantenimiento.

2e. Los revestimientos de pintura dependen de las condiciones climáticas y causan problemas en el taller que afectan los programas de Ingeniería y Construcción (EPC).

El acero estructural galvanizado tiene muchas ventajas sobre el acero pintado, tales como:

3a. El Galvanizado proporciona un control de la corrosión a largo plazo (de 20 a 30 años) que no pueden proporcionar los sistemas de revestimiento de pintura tradicionales (de 5 a 10 años).

3b. El Galvanizado forma una aleación de Zn-Fe con el acero. Esta aleación es extremadamente resistente y no es propensa a sufrir daños mecánicos. Si se daña, el galvanizado circundante aún proporciona protección contra la corrosión.

3c. El Galvanizado es más económico que los revestimientos de pintura protectora, reduce el TIC de la planta y los costos de mantenimiento de la pintura.

3d. El Galvanizado ayuda en gran medida a la constructibilidad de los proyectos, lo que tiene los siguientes beneficios:

- Acorta el calendario general de EPC
- Reduce el trabajo de campo y el retrabajo
- Reduce los costos TIC de los proyectos
- Se mejora el valor agregado
- La seguridad se mejora debido a la minimización del trabajo de campo, especialmente los trabajos en altura



Fotos 47-48: Los mástiles perimetrales de Petro SA cerca de Mossel Bay que se instalaron desde el inicio de la planta (25 años). **Fotos 49-50:** Espesor del revestimiento en la tuerca de sujeción (211 µm) y en el mástil (159 µm) respectivamente.

La protección del acero estructural mediante pintura es difícil debido a:

- 4a. Los bordes y esquinas afilados en las estructuras provocan fallas tempranas en el revestimiento y problemas de corrosión.
- 4b. Las superficies interiores de ángulos, canales y vigas IPN son difíciles de revestir correctamente y provocan fallas de revestimiento tempranas y problemas de corrosión.
- 4c. Los revestimientos no brindan protección contra la corrosión en grietas, superficies de contacto y uniones atornilladas.
- 4d. Los accesorios soldados revestidos y las superficies superiores de las vigas de soporte de tuberías presentan problemas de corrosión.

Referencia de Amplats (Servicios de gestión de Anglo Platinum) tomada de la Especificación Maestra N° ADC 001

“Aunque tuvieron éxito en muchas áreas, por ejemplo, plantas en superficie, los revestimientos de pintura protectora son de uso limitado en galerías. Los revestimientos se dañan fácilmente durante el montaje y el servicio y no pueden mantenerse eficazmente en el ambiente corrosivo del pozo. El acceso a una galería para mantenimiento también es extremadamente difícil. Dado que los revestimientos de pintura ofrecen protección muy poco eficaz, el acero sufre una corrosión rápida, que generalmente es del tipo por picaduras o por perforación. El galvanizado por inmersión en caliente proporciona una superficie dura resistente a la abrasión y a la corrosión que, además, protege al acero base en los puntos sensibles. Además, la naturaleza de la corrosión en las superficies galvanizadas es uniforme y se reduce el riesgo de corrosión por picaduras.

Para hacer frente a las condiciones muy corrosivas en los túneles ascendentes y en las regiones inferiores de las galerías descendentes, se utilizan revestimientos Dúplex que consisten en un sistema de revestimiento de pintura duradero sobre superficies galvanizadas por inmersión en caliente.

En las condiciones que prevalecen en las instalaciones de carga del fondo del pozo (corrosión y abrasión muy severas), puede considerarse el uso de 3CR12 en lugar de galvanizado en caliente o revestimientos Dúplex. En situaciones muy abrasivas, como conductos de carga, los aceros resistentes a la abrasión como Roqlast son más eficaces. No es de esperar que, tanto los aceros 3CR12 como los resistentes a la abrasión, duren toda la vida útil del pozo, por lo que se requerirán reemplazos a intervalos bastante frecuentes. Para uso en galerías temporales como cargas de hundimiento y cargas de túnel medio, las condiciones corrosivas estarían presentes durante un periodo de tiempo más corto, por ejemplo, 2 a 4 años en comparación con 25 a 30 años para los accesorios de pozos permanentes”.

Referencia de Anglo Coal.

Thinus Schmidt, ingeniero mecánico principal de Anglo Coal citó lo siguiente: *“El galvanizado por inmersión en caliente es nuestro sistema de control de corrosión preferido para todo el acero estructural utilizado en Anglo American Thermal Coal para aplicaciones en superficie y subterráneas. Hemos tenido algunos casos en el pasado en los que tuvimos que otorgar concesiones a contratistas para suministrar acero estructural pintado porque no se podía asegurar espacio en las plantas de galvanizado en el periodo en que Sudáfrica atravesó un auge de la construcción.*

Actualmente estamos muy avanzados en los detalles de diseño de la primera fase de un gran proyecto que tendrá una vida útil de 60 años. Consecuentemente, hemos especificado un revestimiento galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia para todo el acero estructural. Según nuestra investigación, esperamos que el revestimiento sea eficiente durante toda la vida útil del proyecto”.

Conclusión

La especificación y aplicación exitosa de sistemas de revestimiento Dúplex y Galvanizado por Inmersión en Caliente con cualquier especificador de minería dependen de:

- Personal de la Asociación experimentado en colaboración con todos los miembros interesados, comprometidos a proporcionar revestimientos de

- calidad de acuerdo con las especificaciones establecidas.
- Introducción inicial y capacitación continua a los especificadores de minería en la comprensión del uso apropiado de los revestimientos para las condiciones en cuestión.
 - Capacitación a los especificadores de minería y personal técnico sobre el diseño requerido para los componentes que van a galvanizarse por inmersión en caliente o revestirse por sistema Dúplex
 - Capacitación a los contratistas de la acería sobre el estándar de fabricación para galvanizado por inmersión en caliente.
 - Cuando inicialmente las condiciones ambientales se consideren inapropiadas para su uso, deben exponerse al entorno probetas galvanizadas por inmersión en caliente o con revestimiento Dúplex, monitorearlas periódicamente y elaborar un informe de resultados.
 - Los servicios que agregan valor, como elementos de fijación galvanizados por inmersión en caliente, materiales de reparación apropiados y otros dispositivos de fijación, deben ser fácilmente accesibles.
 - Participación entre los galvanizadores designados en grandes proyectos y el equipo técnico del proyecto.
 - En base a un desempeño anterior comprobado, el siguiente control de corrosión en minería generalmente resultará exitoso:
 - Acero para minería de nivel profundo – Galvanizado por Inmersión en Caliente.
 - En el peor de los casos, reduzca el espesor entre un 10 y un 15% y utilice revestimiento Dúplex.
 - Fundiciones, Plantas Metalúrgicas y Plantas de Gas PGM - Revestimiento Dúplex.
 - Plantas de lavado de Carbón - Revestimiento Dúplex.
 - Transportadores y torres de transferencia - Galvanizado por Inmersión en Caliente (no en áreas costeras).
 - Con excepción de las áreas ácidas en las plantas petroquímicas, el Galvanizado por Inmersión en Caliente es aceptable (no en áreas costeras).

Finalmente, el éxito general en la industria minera vendrá como resultado de la representación constante y frecuente ante los especificadores, imparciales y de mente abierta, quienes a través de los resultados positivos que experimenten al reducir los costos a largo plazo y las condiciones de trabajo seguras que logren para su personal, estarán dispuestos a repetir la especificación de Galvanizado por Inmersión en Caliente y sistemas Dúplex y a suministrar libremente las referencias que se incluyen en este documento.

Artículos referenciados

“Acero galvanizado por inmersión en caliente como material de construcción apropiado y realista para pozos de minas”. Autores: Bob Andrew, Walter Barnett y Bob Wilmot

“Acero galvanizado por inmersión en caliente utilizado en minas de nivel profundo en Sudáfrica”. Autor: Bob Wilmot - Exdirector Ejecutivo de HDGASA.

S3 PINTURA SOBRE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE O SISTEMAS DE REVESTIMIENTO DÚPLEX

CONTROL EFICIENTE DE LA CORROSIÓN

En 2013 se produjeron Sudáfrica casi un millón y medio de toneladas de productos de acero galvanizados por inmersión en caliente, para uso doméstico y para exportación. Ya sea en forma de chapa y alambre galvanizados en caliente en líneas continuas, o tubos y estructuras fabricadas en acero que se galvanizaron por inmersión en caliente en plantas de galvanizado general. Como los revestimientos de la chapa y el alambre son relativamente delgados, de diversos grados de espesor, nuestra discusión se centrará en las aproximadamente 500.000 toneladas que salieron de la industria de galvanizado por inmersión en caliente general.

Todos estos productos muestran una notable vida útil libre de corrosión en entornos continentales, ya que el zinc se corroe a una velocidad de aproximadamente 1 a 2 micrones al año (ISO 9223/14713) y en la mayoría de los casos la protección excede la vida útil de la estructura. Sin embargo, es importante saber que el revestimiento galvanizado por inmersión en caliente fallará luego de un período de tiempo en determinados entornos agresivos y por ello debe optarse por un sistema Dúplex adecuado. Esto es particularmente relevante cuando se trata de revestimientos delgados aplicados por galvanizado en caliente continuo (Z275 o menos, de acuerdo con ISO 3575 o ISO 4998).

El espesor promedio de un revestimiento por galvanizado general en acero estructural es del orden de 100 μm y variará, según el perfil del acero, entre un espesor local de 55 μm , hasta 250 μm aproximadamente en secciones pesadas. Dado que se agrega silicio como desoxidante al acero fundido que luego se utilizará en la fabricación de estructuras, generalmente los perfiles más pesados tienden a ser reactivos al zinc fundido. Esto es especialmente notorio cuando se requieren mayores tiempos de inmersión debido a las dimensiones del componente o al tamaño o posición inadecuados de los orificios de

llenado y ventilación en secciones huecas. En estructuras de perfiles gruesos es raro encontrar un espesor de revestimiento medio que no supere los 85 μm requeridos por ISO 1461.

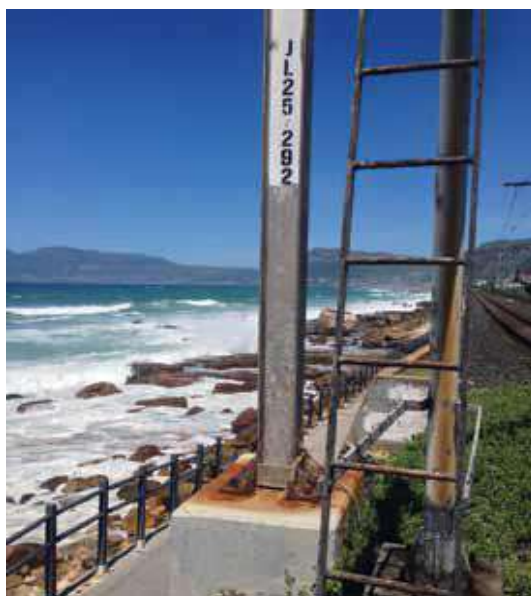
Como sabemos, en entornos continentales las fallas en el galvanizado por inmersión en caliente son inexistentes y la vida útil del revestimiento superará fácilmente los 50 años. Estas durabilidades son habituales incluso en el hogar promedio donde las puertas, barandas, cubos, contenedores, postes de iluminación y accesorios de jardín han sido galvanizados por inmersión en caliente. Las fallas de revestimiento sólo ocurren por razones que se determinan fácilmente analizando el entorno. Normalmente se limitan a malas prácticas de galvanizado como áreas dañadas por exceso de revestimiento mal reparadas, contaminación grave, ciertas aguas ácidas y estructuras que se encuentran en zona de mareas o muy cerca del mar. En estos entornos el revestimiento debe reforzarse con un sistema Dúplex o, en casos extremos, sustituirse por alternativas como acero de alto grado o acero inoxidable dúplex.

Dado que las fallas en el revestimiento en entorno continental no existen sin un motivo, los galvanizadores, al igual que sus competidores las empresas de fabricación de pintura, no deberían dudar en brindar garantías a sus clientes. Esto es de especial importancia ya que estos clientes son actores importantes de la industria como Eskom, Transnet, municipios locales, etc.

Foto 1: Barandilla y poste de iluminación recientemente galvanizados por inmersión en caliente (3 años) en un excelente estado mientras se ve al fondo un mástil de catenaria con revestimiento Dúplex que también está en excelentes condiciones después de 12 años de exposición (consulte la opción 2 de Revestimientos Dúplex exitosos).



1



2

Foto 2: En la zona de salpicaduras permanentes la pintura vinílica acrílica a base de agua de 80 μm de espesor de película seca, (DFT) ha fallado y el revestimiento galvanizado pesado (250 μm) ha resistido bien durante 21 años, excepto en la placa base debido a la humectación permanente por agua de mar.



3



4

Foto 3: Mástil de catenaria con revestimiento Dúplex. Véanse las condiciones agresivas del rocío del mar al fondo.

Foto 4: Una regadera galvanizada en caliente utilizada en el área de Constantia en Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Comprada en 1963 (50 años) todavía indica una lectura de espesor de revestimiento de 85µm. Para el espesor del acero de 2,0 mm, esto supera con creces los requerimientos de la normativa.

Una garantía proporciona al especificador la confianza que necesita para promover el producto, ya que generalmente él o su empresa serán responsables por sus fallas.

En estructuras de acero instaladas en ambientes atmosféricos agresivos podría considerarse negligente no especificar un revestimiento como Galvanizado por Inmersión en Caliente o un sistema de limpieza mecánica y pintura. La preparación de la superficie del acero con cepillo de alambre no se recomienda para aplicaciones exteriores debido a que la cascarilla no se elimina por completo. Si la estructura de acero se expone al exterior, la cascarilla de laminación tenderá a desprenderse gradualmente por debajo del revestimiento, lo que llevará a la falla de éste. En un ambiente marino agresivo, una superficie galvanizada por inmersión en caliente necesitará reforzarse con una serie de revestimientos de pintura. Existen diversos grados de condiciones marinas a considerar.

A. Condición marina extremadamente agresiva

Se define la condición marina más agresiva como la zona de salpicaduras hasta a unos 20 metros del mar. Aquí la instalación de acero suele estar permanentemente húmeda, recibe poca luz solar y se somete a un rociado continuo de sal.

B. Condición marina muy agresiva

Entre veinte y doscientos metros del mar y sometido a rociado de sal y niebla marina continua.

C. Condición marina agresiva

200 metros a uno (a 3 #) kilómetros del mar.

D. Condición marina suave / suburbano

Un kilómetro (o 3 #) hasta veinte kilómetros del mar.

E. Interior rural

Interior cálido y seco.

A y B requieren un sistema Dúplex con una película mínima de pintura apropiada de 200 a 250 µm de espesor de película seca (DFT en inglés).

C requiere un sistema de pintura dúplex con un espesor de película seca (DFT) mínimo de 150 µm de pintura.

D no requiere revestimiento.

E tiene una vida útil indefinida.

- Dependiendo del efecto combinado de la acción de las olas, prevalencia de vientos marinos, velocidad del viento y topografía plana, la distancia podría ser de hasta 3km.

Revestimientos dúplex exitosos para entornos A y B. Elección de 1, 2 ó 3

- 1. Imprimación epoxi, capa intermedia epoxi MIO, capa final poliuretano de un espesor seco total de 200 a 250 µm.
- 2. Copolímero acrílico-estireno a base de agua más dos capas superiores de acrílico de estireno plastificado hasta un espesor total de película seca de 350 µm.
- 3. Alquitranes epoxi en muelles, donde no hay luz solar hasta un espesor total de película seca de 350 µm.

Revestimientos Dúplex exitosos para el entorno C

- 1. Imprimación epoxi y acabados de poliuretano con un espesor total de película seca de 100 hasta 150 µm.

Fallas en los entornos A y B

Vinilos acrílicos, esmaltes y sistemas a base de agua donde el total de película seca no supera los 80 µm.

Aunque puede verse en las fotos adjuntas que hay áreas oxidadas en aceros estructurales en zonas de salpicadura, el Galvanizado por Inmersión en Caliente ha resistido notablemente bien considerando que el sistema de pintura falló en un período de tiempo muy corto. Las fallas han ocurrido en los sistemas de base acuosa, donde el espesor total de película seca de la pintura no superó los 80 µm. Los mástiles IPN se instalaron hace veintidós años y los mástiles de sección rectangular fueron instalados hace doce años.

Debido a que el acero dulce sin protección se corroe a una velocidad superior a aproximadamente 300 µm por año en atmósferas agresivas, en estos casos es esencial aplicar un sistema de revestimiento Dúplex adecuado. Los sistemas de revestimiento Dúplex han proporcionado una notable vida útil libre de corrosión en instalaciones en áreas marinas agresivas.

CÓMO PINTAR SOBRE ACERO GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE (2011)

La pintura sobre acero galvanizado por inmersión en caliente ha sufrido fallas a lo largo de los años desde que comenzó a utilizarse. Esto se debe a la falta de una adecuada preparación de la superficie previa a la aplicación del sistema de pintura, o a espesores de pintura muy delgados, expuestos a ambientes altamente agresivos.

Una cuidadosa preparación de la superficie del revestimiento galvanizado, que no debe pasivarse antes de pintarse, practicada mediante limpieza abrasiva a la presión correcta y con el material correcto, o una limpieza química que consiste en tratar toda la estructura con un agente adecuado y luego lavarla y secarla antes de la aplicación de la pintura, es la primera condición fundamental. Ahora debemos prestar atención al siguiente paso.

Es necesario seleccionar los revestimientos de pintura y espesor de película seca (DFT) correctos después de estudiar el posicionamiento de la estructura y la accesibilidad y agresividad del entorno. La vida de servicio y los intervalos de mantenimiento también son consideraciones importantes, ya que capas delgadas de pintura podrían requerir mantenimiento anual si se instalan cerca del mar. Esto no siempre es posible, por lo que, desde el inicio, deberían aplicarse sistemas de revestimiento Dúplex o sistemas de pintura de alta resistencia.

El sistema de aplicación también es una consideración importante. En este sentido, consideramos necesaria una garantía de corto plazo proporcionada conjuntamente entre el aplicador y el proveedor de pintura para la prevención de fallas y corrosión prematura. Las fallas de adherencia de las pinturas ocurren normalmente durante el primer año desde su aplicación. En Sudáfrica, los proveedores más confiables respaldarán sus productos. Esto incluye a la industria del Galvanizado por Inmersión en Caliente, que puede tener también sus propias instalaciones de pintura.

¿Cuál es el costo de aplicar una imprimación epoxi y acabado de poliuretano sobre estructura de acero galvanizado de diferentes espesores?

La siguiente tabla detalla el costo de los revestimientos y puede ser utilizada por los especificadores y sus clientes a modo de referencia. Estos costos pueden variar considerablemente de un aplicador a otro.

¿Por qué invertir dinero extra en un sistema Dúplex?

En entornos continentales en Sudáfrica las fallas del galvanizado por exposición atmosférica son poco frecuentes, y un revestimiento galvanizado por inmersión en caliente general puede durar fácilmente 50 a 100 años. En las regiones costeras, esto es muy diferente, especialmente donde predominan vientos desde la costa y las estructuras se someten a depósitos permanentes de sal. Esto se acentúa si la estructura no recibe luz solar suficiente y permanece húmeda por periodos prolongados. Este fenómeno se denomina *tiempo de humectación* (TDH) y contribuye considerablemente a la velocidad de corrosión.



Espesor del perfil de acero	Por tonelada		Por tonelada		Por tonelada		Espesor total de revestimiento
	m2 por tonelada de acero	Galvanizado por Inmersión en Caliente en USD	Promedio de espesor de Galvanizado por Inmersión en Caliente	Costo de un sistema de pintura de dos capas en USD	DFT de un sistema de pintura de dos capas	Costo total de un sistema Dúplex en USD	
3mm a 4mm	64	325,35 (532,40)	100	302,42 (567,03)	120	627,39 (1.097,97)	220
5mm a 6mm	42	295,55 (472,88)	125	198,46 (372,12)	120	493,71 (844,51)	245
7mm a 8mm	32	266,99 (413,60)	150	151,27 (283,64)	120	417,02 (697,00)	270
9mm a 10mm	26	251,11 (384,06)	175	122,91 (230,45)	120	373,80 (614,15)	295
11mm a 12mm	21	236,39 (354,59)	200	99,27 (186,13)	120	335,42 (540,33)	320
13mm a 20mm	13	210,98 (325,04)	225	61,43 (115,19)	120	279,91 (439,95)	345

Notas:

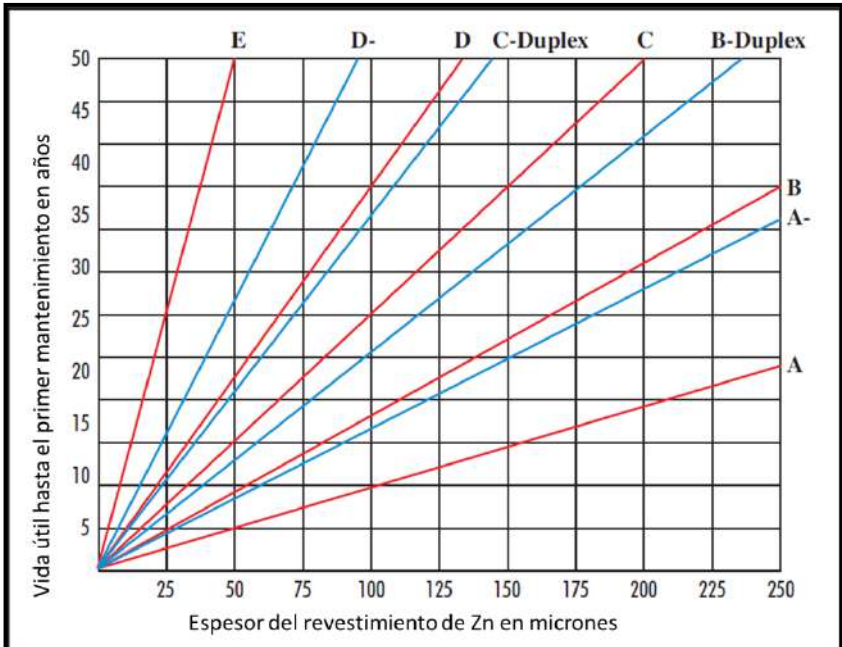
1) Los costos variarán para diferentes aplicadores, pero son aproximados para lotes de 100 toneladas de acero estructural. (Las cifras entre paréntesis son una aproximación de los precios relevantes en 2020).

2) El sistema de pintura citado es para una imprimación epoxi y una capa superior de poliuretano para condiciones atmosféricas cercanas al mar e incluye preparación antes de pintar.

3) Este es un sistema dúplex para un entorno costero pero requerirá una capa de pintura adicional (dft 100) dependiendo de la proximidad al mar.

4) El gran espesor del revestimiento galvanizado se alcanza por la inmersión en caliente de aceros calmados con silicio y mayores tiempos de inmersión. La norma ISO 1461 para galvanizado general es extremadamente conservadora y sólo requiere una media de 85 µm para perfiles de acero de más de 6 mm. Este recubrimiento delgado sólo se logra en aceros calmados con aluminio, que generalmente no exceden los 4 mm. de espesor y el galvanizador general pasa la mayor parte de su tiempo aplicando el doble del recubrimiento de zinc que se requiere debido a los aceros reactivos calmados con silicio. Este recubrimiento de zinc pesado no es un hecho bien conocido por el usuario del galvanizado.

5) los m2 se basan en el último espesor de perfil mencionado.



Categorías	Distancia al mar (m / km)	Categoría de corrosión	Velocidad aprox. De corrosión del Zn (µm/año)	Conservador para acero estructural asumir 100 µm	Vida aproximada del Zn hasta el primer mantenimiento (años)	Vida útil aproximada del sistema Dúplex (años)
A	0 a 50 m. Costa de False Bay	Marino severo extremo	10 a 20	100	5 a 10	7 a 14
B	50 a 500 m. Costa de False Bay	Marino muy severo	5 a 10	100	10 a 20	14 a 28
B	0 a 50 m. Costa Atlántica	Marino severo	5 a 10	100	10 a 20	14 a 28
C	500 m. a 3 km. Costa de False Bay	Marino severo	3 a 5	100	20 a 30	28 a 42
C	50 m. a 1 km. Costa Atlántica	Marino severo a moderado	3 a 5	100	20 a 30	28 a 42
D	3 km. a 5 km. Costa de False Bay	Marino leve a moderado	2 a 4	100	25 a 50	35 a 70
E	De 2 km hacia el interior. Costa Atlántica	Exterior rural continental	1 a 2	100	50 a 100	Se requiere sólo por color
E	De 5 km. hacia el interior. Costa de False Bay	Exterior rural continental	1 a 2	100	50 a 100	Se requiere sólo por color

Tabla 1.

Por este motivo en la Península del Cabo, la línea costera de False Bay es dos veces más corrosiva que la costa del océano Atlántico debido a que el viento del sudeste predomina durante aproximadamente ocho meses al año, mientras que del lado del atlántico el viento del noroeste acompañado de lluvia tiene un efecto de lavado, reduciendo los depósitos de sal. La niebla salina puede depositarse a gran distancia desde Muizenberg debido a los vientos predominantes del sudeste.

En áreas cercanas al mar, el sistema Dúplex es esencial, constituyendo un requisito previo para lograr una razonable vida útil libre de corrosión. Los revestimientos de pintura de bajo espesor requieren mantenimiento anual y trabajo pesado. Los sistemas de pintura de tres capas con espesor de capa seca (DFT) de aproximadamente 250 µm son eficaces para lograr una vida útil razonable hasta el primer mantenimiento. El gráfico y la Tabla 1 indican la vida útil del revestimiento de galvanizado por



inmersión en caliente por sí solo, que se duplicará si se combina con un sistema de revestimiento de pintura adecuado. Protegiendo el revestimiento de zinc se protege, también se protegerá la estructura.

Es responsabilidad del especificador proporcionar a su cliente un sistema de revestimiento que le ofrezca la seguridad y el conocimiento de que su instalación no fallará por los estragos de la corrosión, que cuesta al país muchos miles de millones al año. Siempre recuerde que el Galvanizado por Inmersión en Caliente es la capa de imprimación más confiable y eficaz ya que constituye una unión metalúrgica con el acero formando una serie de capas de aleación de zinc / hierro. Este revestimiento es superior en todo sentido a cualquier imprimación de pintura.

Notas: 1) Las tasas de corrosión del zinc son aproximadas y constituyen únicamente una guía. **2)** En todos los casos, la vida útil del revestimiento de zinc es proporcional a su espesor. **3)** La chapa y correas galvanizadas por inmersión en caliente en línea continua no deben utilizarse en exteriores en zonas costeras agresivas. **4)** Los conceptos anteriores son opiniones y responsabilidad de los autores.

REVESTIMIENTO DÚPLEX. EFICIENTE AL CABO DE 14 AÑOS (2014)

El objetivo del proyecto era ensanchar el puente sobre Liesbeeck Parkway y el Liesbeeck River adyacente en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, lo suficiente para incluir un carril de tránsito adicional en ambos sentidos de la vía de acceso N2.

Aplicación y características clave del diseño final

Las características clave del diseño final (ver fotos) fueron:

- Ménsulas y puntales de acero estructural unidos a los pilares existentes de hormigón reforzado, a fin de soportar las cargas vivas adicionales y a la vez asegurar un despeje aceptable del camino más características estéticas (el acero estructural resultó la solución óptima para la transferencia de las fuerzas verticales y transversales a la subestructura existente dentro de sus restricciones geométricas).
- Tensado transversal de las vigas de los caballetes mediante barras DYWIDAG externas.
- Amarre positivo de los elementos de ensanche a la estructura existente mediante anclajes postensados GEWI (anclajes para roca utilizados en la industria minera) para asegurar una adecuada transferencia de la fricción por cizallamiento.
- Elevación mediante gatos planos perdidos instalados sobre cojinetes de copa (la presión de elevación se logró mediante una lechada cementicia formulada y probada que fraguó bajo carga vertical después de lograr la fuerza requerida).

Durabilidad

En vista de la necesidad de utilizar secciones estrechas de hormigón debido a las limitaciones dimensionales existentes, la durabilidad recibió especial atención, implementándose las siguientes medidas para esa finalidad:

- Se utilizó una combinación de cemento Portland ordinario más ceniza volante (OPC/FA). Esto no sólo proporcionó una mejora en las propiedades de durabilidad del hormigón, sino también proporcionó ventajas relacionados con la mejora de la trabajabilidad del hormigón y la textura del acabado superficial.
- Tanto el acero estructural como las armaduras de refuerzo se galvanizaron por inmersión en caliente.

Las siguientes son las principales consideraciones que dieron lugar a la decisión de especificar el acero galvanizado:

- La ubicación del puente en un área de exposición moderada a severa.
- Amplia experiencia del cliente en cuanto a problemas y costos de mantenimiento en estructuras de hormigón con características de durabilidad insuficientes en áreas similares.
- El método de construcción, con grandes áreas de contacto entre hormigón antiguo y nuevo con barras refuerzo críticas cruzando la zona de interfaz.
- Consideraciones de compatibilidad de propiedades entre el hormigón antiguo y el nuevo y el efecto del deslizamiento y contracción que podría dar lugar a la formación de grietas en los elementos nuevos de hormigón.

Las consideraciones de diseño y los requisitos de especificación se establecieron principalmente sobre la base de las directrices contenidas en el último informe “Revestimientos de Protección para Barras de Refuerzo”, publicado en 1995 por Thomas Telford Services Limited. (Publicación formal del Comité Euro-internacional 1992, Boletín Du Beton 112).



1



2



3

Foto 1: Intersección de Liesbeeck Parkway mirando hacia Table Mountain mostrando las ménsulas de acero recubiertas mediante sistema Dúplex. Fotos 2 - 3: Las ménsulas de acero recubiertas mediante sistema Dúplex, aunque se ven ligeramente decoloradas por agua de lluvia, permanecen intactas.



4



5

Foto 4: Anclaje positivo de los elementos de ensanche de los pilares a la estructura existente mediante el uso de anclajes postensados GEWI. Foto 5: Preparación del pilar de hormigón armado existente para acomodar la ménsula y el puntal de acero estructural galvanizado por inmersión en caliente.

Los siguientes son algunos de los puntos destacados en esta publicación sobre el uso de refuerzo galvanizado, que se tuvo en consideración durante el proceso de diseño, según se informa en los estudios de caso principalmente para cubiertas de puentes:

- Las técnicas de galvanizado adecuadas no tienen efectos significativos sobre las propiedades mecánicas de las barras de refuerzo.
- El revestimiento de zinc proporciona protección catódica local al acero, mientras la capa de revestimiento no se haya consumido.
- La corrosión del acero galvanizado es menor en extensión e intensidad en comparación con el acero negro, durante un período prolongado de tiempo.
- El acero galvanizado tolera concentraciones de cloruros más altas que el acero negro antes de que se produzca la corrosión.
- Se logra una mayor compatibilidad con cementos de bajo contenido alcalino (en este ejemplo el uso de ceniza volante como aditivo liviano proporcionó el beneficio adicional de reducir el contenido de álcalis activos en la mezcla).
- Una reducción accidental de la cobertura es menos riesgosa en aceros galvanizados que en aceros negros.
- El desarrollo de la adherencia entre acero y hormigón depende tanto del tiempo como del medioambiente, y generalmente toma un periodo más prolongado en el acero galvanizado. Esto se tuvo en consideración en los requisitos de desarmado de encofrados. La adherencia final, que en algunos casos puede ser mayor que con barras no galvanizadas, depende del contenido de cromatos del cemento.
- El uso de refuerzo galvanizado no debe considerarse como alternativa al suministro de la cobertura adecuada y/u hormigón impermeable denso y debe comprenderse como una medida complementaria.

Consideraciones estéticas

Este aspecto recibió especial atención durante el diseño de la ampliación de la subestructura. El cliente, que proporcionó vastos aportes durante el proceso de diseño, estipuló directrices estrictas. En vista de que el ensanche final consistió en un puntal de acero estructural excepcional, se consideró especialmente importante no alterar el carácter principal de la estructura de hormigón armado existente y que el ensanche no tuviera una

apariencia de elemento "agregado" temporariamente. Este objetivo se logró mediante lo siguiente, y se cree que el ensanche ha mejorado la apariencia del puente:

- Diseño de la geometría del elemento de acero estructural compatible con el perfil de hormigón existente, con un mínimo de salientes adicionales.
- Uso de placas de cobertura para ocultar los elementos inevitables de acero estructural.
- Pintado de las placas de acero con el mismo revestimiento protector a base de cemento que se especificó para la subestructura de hormigón. Se requirió un extenso procedimiento de prueba para lograr las características de unión adecuadas.

Condiciones ambientales

Las condiciones en Liesbeeck Gardens Interchange varían entre ambientes suaves a moderadamente corrosivos, donde la tasa de corrosión del zinc, por sí solo, es en el peor de los casos de 2 a 3 μm por año.

Nuestros hallazgos

Aunque, debido a su altura, no ha sido posible un examen detallado de la ménsula y el puntal con revestimiento Dúplex, los elementos revestidos por sistema Dúplex, aparte de una cierta decoloración por el escurrimiento de agua, se encuentran en buena condición, como puede apreciarse en las fotos arriba.



Otra vista del acero galvanizado por inmersión en caliente utilizado arquitectónicamente en la Biblioteca Nacional, Pretoria, Sudáfrica (ver artículo en la página 52).

S 5 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS METÁLICOS DE ZINC

CHIMENEAS DE LA CENTRAL ELÉCTRICA DE MEDUPI: Proyección térmica de Zinc metálico sobre vigas de alma llena (2011)

Antecedentes

La Central Eléctrica Medupi tiene dos chimeneas de 213 m de altura con tres conductos de humos. Los conductos de humos se fabricaron de acero templado y de acero inoxidable. La mayor parte del acero templado en este proyecto está galvanizada por inmersión en caliente, a excepción de tres de las vigas.

Se necesitaron tres vigas de dimensiones de 17 m x 3,1 m para el apoyo de las plataformas de las chimeneas Medupi Norte y Sur a 205 m. En este caso las dimensiones de las vigas no permitían el Galvanizado por Inmersión en Caliente debido a la combinación de largo y ancho, haciéndolo demasiado largo o ancho para sumergirse en un crisol, aún en una doble inmersión. Otro factor que también excluyó al Galvanizado por Inmersión en Caliente fue la posibilidad de distorsión.

Aunque Robor Galvanizers (actualmente Monoweld) es conocida por su capacidad para manejar componentes grandes y complicados en doble inmersión, se tomó una decisión conjunta con Grinaker-Lta de que la mejor alternativa al Galvanizado por Inmersión en Caliente sería la proyección térmica de zinc metálico sobre las vigas.

La proyección térmica de zinc metálico es la mejor alternativa al galvanizado por inmersión en caliente debido a que el zinc

metálico aplicado durante la proyección tiene la misma composición química que el zinc utilizado en el proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente. La única diferencia es que la adhesión a la superficie del acero es mecánica, mientras que durante el Galvanizado por Inmersión en Caliente se forma un enlace metalúrgico.

Logística y otros requisitos

Robor (Monoweld) Galvanizers redactó una “declaración de método” detallando los requisitos de seguridad, medioambiente y calidad, que Grinaker-Lta. aceptó. Robor (Monoweld) transportó el equipo, consumibles y personal al sitio de fabricación de Grinaker-Lta en Vanderbijlpark. El aire comprimido fue suministrado por un compresor móvil cortesía los talleres de Grinaker-Lta.

El proceso de proyección térmica requirió un granallado previo de las vigas, que se llevó a cabo en las instalaciones de Bulldog Projects ubicadas en las cercanías. La dimensión de los componentes hizo necesario el revestimiento de un lado de las vigas a la vez, por lo que se requirió el uso frecuente de vehículos de transporte pesado entre los talleres de granallado y proyección para evitar la oxidación rápida de áreas recién granalladas. El proceso de proyección se llevó a cabo a cubierto, pero en un área bien ventilada.



1



2



3



4

Foto 1: Proyección térmica de metal en el taller.

Foto 2: Apariencia del revestimiento de proyección térmica de zinc.

Foto 3: Se requirieron controles de calidad y pruebas de espesor de revestimiento frecuentes.

Foto 4: Espesor de revestimiento típico logrado.

Componente N° 101 530 02					
Lecturas individuales	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Espesor promedio del revestimiento
1	339	238	137	129	
2	260	279	140	177	
3	273	222	153	201	
4	275	269	131	154	
5	378	230	137	178	
Revestimiento local promedio	305,00	247,60	139,60	167,80	215,00
Componente N° 101 530 02 CCC					
Lecturas individuales	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Espesor promedio del revestimiento
1	256	191	298	187	
2	257	193	236	225	
3	236	251	184	257	
4	242	250	180	229	
5	234	270	134	243	
Revestimiento local promedio	245,00	231,00	206,40	228,20	227,65
Componente N° 101 530 01					
Lecturas individuales	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Espesor promedio del revestimiento
1	205	318	343	240	
2	252	265	260	290	
3	227	317	231	353	
4	242	339	264	315	
5	265	287	365	266	
Revestimiento local promedio	238,20	305,20	292,60	292,80	282,20

Tabla 1

Una vez completado el proceso en una cara, la viga se y transportó de regreso al área de granallado, donde se repitió todo el proceso.

Controles de calidad del proceso

Rápidamente se hizo evidente que se necesitarían controles de calidad frecuentes para identificar áreas que requerían capas adicionales de metal. Los operadores de Robor (Monoweld) recibieron medidores de espesor de revestimiento calibrados que utilizaron para sus propias inspecciones. Además, miembros del equipo directivo de Robor (Monoweld) también realizaron controles frecuentes que también verificaron el cumplimiento de los requisitos de seguridad.

Inspección final

La inspección final se llevó a cabo respetando los requisitos establecidos en la norma ISO 1461. Se seleccionaron en total cuatro áreas de referencia a lo largo de cada viga, en lugar de las tres requeridas. Se tomaron cinco lecturas de espesor de revestimiento en cada área de referencia. Los resultados se utilizaron para calcular los espesores locales y promedios de revestimiento. Los resultados se muestran en la *Tabla 1*.

En resumen

El proyecto se completó con éxito, teniendo en cuenta las dimensiones de los componentes y las cuestiones logísticas. Los productos terminados fueron aceptados por todas las partes y se concluyó que este proyecto, el primero en su tipo, fue manejado profesionalmente por todos los involucrados.

1



2



3



Fotos 1-2: Lo ángulos intrincados por los que se aplicó proyección térmica de zinc a estas estructuras en forma de prisma triangular perfiladas, demasiado grandes para un Galvanizado por Inmersión en Caliente.

Foto 3: Cobertura parcial sobre la proyección térmica de zinc, utilizando un sistema de pintura de dos capas en estas estructuras intrincadas en forma de prisma triangular. **Foto 4:** La estructura completa tratada mediante proyección térmica de zinc y luego pintada, para el techo de la piscina cubierta Blue Downs, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.

S7 APLICACIONES EXITOSAS DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE Y REVESTIMIENTO DÚPLEX

CONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE CONTROL DE RADIO DEL SERVICIO POLICIAL DE SUDÁFRICA, PORT ELIZABETH, SUDÁFRICA (2012)

Para mejorar los tiempos de respuesta, el Servicio de Policía de Sudáfrica se ha comprometido a ampliar sus operaciones para proporcionar una tasa de atención de llamadas más eficiente y drásticamente mejorada en el país

Las instalaciones del Servicio de Policía de Sudáfrica (SAPS 10111) en Mount Road, Port Elizabeth, son inadecuadas en términos de espacio y no permiten ampliación debido a la naturaleza de la estructura existente. Se necesita una nueva instalación de alta tecnología para manejar grandes equipos electrónicos sensibles con todas sus funciones y requisitos de soporte relacionados.

El edificio está ubicado en un sitio amplio de 2,4 has en Korsten, Port Elizabeth, rodeado por calles secundarias hacia el sur y espacios abiertos hacia el norte. El sitio, al ser uno de los puntos más altos de la zona, ofrece grandes posibilidades de vistas panorámicas a la Bahía.

La planta del edificio está orientada a lo largo de un eje Este-Oeste, mirando hacia el límite Noreste del terreno. Esta yuxtaposición refuerza intencionalmente la forma y volumen del edificio, definidos por los niveles del sitio.

Se accede desde el Noreste directamente a lo largo del eje central del edificio, lo que permite vistas a través del mismo hacia el Oeste. El Centro de Atención Telefónica y Control de Radio constituye el eje de la instalación y está diseñado como una entidad independiente dentro del espacio de la estructura del edificio, definido por un único un techo a un agua.

Todos los espacios para servicios de apoyo se respaldan en este espacio central, aprovechando las vistas.

Foto 1: Terminación de la fachada Este. **Foto 2:** Vista del extremo occidental de la fachada, incluido el dosel de entrada. **Foto 3:** Puerta de entrada y marquesina de acero galvanizado por inmersión en caliente.

Por encargo del cliente debía proporcionarse un espacio ininterrumpido para los receptores de llamadas, lo que requirió una intrincada estructura de acero para abarcar y soportar un espacio de servicio de 800 m².

Dentro del espacio del Centro de Llamadas, pueden verse dos vigas de acero primarias con soportes de acero ocultos dentro del espacio del techo. Las estructuras enmarcadas en hormigón que flanquean el volumen central interactúan delicadamente con este núcleo mediante pasarelas de acero cuidadosamente elaboradas, con un diseño industrial.

El alojamiento de la Oficina Central dentro de las dos estructuras enmarcadas está diseñado en partes que se conectan mediante vigas IPN de acero y losas planas de hormigón. Esto permite que las oficinas del nivel inferior no se obstaculicen por estructuras de soporte, permitiendo flexibilidad en términos de



1



2



3

compartimentación de espacios, que podrán modificarse para adaptarlas a los requisitos de los usuarios finales.

El edificio será presentado a GBCSA (Green Building Council of South Africa) para su acreditación de cuatro estrellas. Puede lograrse un punto cuando el 50% de la estructura de acero de los edificios está diseñada para un posible desmontaje futuro. Esto se piensa para fomentar y reconocer diseños que minimicen la energía incorporada y los recursos asociados con la demolición. Por lo tanto, se concibió el uso del acero como estructura principal por definición, prestando especial atención a los detalles entre los diferentes volúmenes del edificio. La estructura se galvanizó a su vez para lograr una estética “industrial” armoniosa en todo el proyecto. Esta continuidad permite percibir todo el elemento estructural en su estado “crudo” y

reduce cualquier problema de mantenimiento a lo largo de la vida útil, un requisito específico del Departamento Nacional de Obras Públicas (NDPW) que requiere como estándar que todo el acero sea galvanizado en por inmersión en caliente.

La construcción finalizó en agosto de 2012.

EQUIPO DE PROYECTO

Ciente: Departamento Nacional de Obras Públicas (NDPW).

Usuario final: Servicio de Policía de Sudáfrica (SAPS)

Arquitecto y agente principal: The Matrix ... cc Arquitectos y Diseñadores Urbanos.

Ingenieros estructurales y civiles: BVI Consulting Engineers

Agrimensores: Rousseau Probert Elliot

Ingenieros eléctricos y mecánicos: Palace Technologies



Foto 4: Vista inicial de la estructura de soporte de acero galvanizado en caliente para el entrespacio del Centro de Atención Telefónica. **Foto 5:** Instalación del techo del Centro de Atención Telefónica que muestra la estructura expuesta de acero galvanizado por inmersión en caliente. **Foto 6:** Finalización de la estructura de acero galvanizado por inmersión en caliente en el extremo occidental de la fachada. **Foto 7:** Vista de la instalación de la fachada de acero galvanizado por inmersión en caliente. **Foto 8:** Instalación de extracción de aire con estructura interior de acero galvanizado por inmersión en caliente. **Foto 9:** Vista de la fachada sur donde se aprecia el diseño de la protección solar. **Foto 10:** Instalación del ascensor de acero galvanizado por inmersión en caliente.

HOUSE TAYLOR, BALLITO BAY, KWAZULU NATAL, SUDÁFRICA: UN COMPROMISO CON EL ACERO GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE (2012)

Para constancia

La “Casa Verde” de la colina en Ballito se ha convertido en uno de los edificios de los que más se habla en la historia local. La razón es evidente. En un intento por construir una casa que fuera respetuosa con el medio ambiente y de vanguardia, el propietario y diseñador, el Arquitecto Charles Taylor, ha adoptado la tecnología que, con suerte, revolucionará la forma en que se construirán muchas casas en esta región en el futuro.

El uso integral de acero galvanizado por inmersión en caliente permitió construir marcos modulares que soportan estratos de madera, vidrio y vegetación que forman los cerramientos, para crear una casa dramáticamente diferente al estándar.

El gran compromiso con la estructura de acero galvanizado en caliente puede notarse en esta vista de la casa y la terraza de la piscina.

El sitio de 4.000 m² fue inicialmente el primer depósito de agua de Ballito desde la década de 1960, y se encuentra majestuosamente ubicado en la cima del punto más alto de Lower Ballito, con vistas panorámicas sobre los tejados y montañas distantes hacia atrás, y espectaculares vistas del océano al frente.

Los elementos de diseño ultramoderno incorporan lo último en tecnología ecológica. La refrigeración, ventilación e iluminación “pasivas” son un principio rector del diseño, integrando la última tecnología en una posición adaptable para permitir el agregado de nuevos sistemas en el futuro.

El arquitecto

A mi esposa y a mí siempre nos han encantado los invernaderos y las “casas verdes”, y queríamos incorporar la sensación de estar en un cierto volumen con estructura de acero, vegetación y predominancia del cielo.

El diseño del edificio representa un compromiso con el lugar en términos de vistas, espacios al aire libre, situación de los árboles existentes y orientación frente al viento y el sol. La estructura se ha diseñado pensando en la flexibilidad y la adaptabilidad.

El acero estructural es un gran medio: es antiguo pero moderno, reciclable, brilla con la luz, proporciona una estructura ordenada y cuadrada que puede soportar grandes luces y es muy fácil de integrar con otros materiales. Las formas se han curvado ligeramente para suavizar la estética y captar la manera en que el ojo une los bordes de la estructura con el cielo y las nubes, las colinas más lejos, y el océano.

Todos los espacios de estar y los dormitorios están dispuestos para garantizar que cada habitación tenga un mínimo de tres lados orientados para obtener luz natural y ventilación. Grandes conductos de servicio permiten agregar o cambiar los sistemas mecánicos o eléctricos de la casa.

El ingeniero

Charles Linda Ness, de NJV Consulting asistió a Charles en el diseño de su hermosa casa en la colina. No había dudas sobre el uso de estructuras de acero como columna vertebral, con nervaduras, para la vivienda de dos pisos: los modelos de Architectural Revit incorporaron un fuerte elemento visual de estructuras de acero expuestas.

Un extenso podio reforzado presentó un punto de inflexión para el marco de acero. Una losa de hormigón retiene el terraplén asentado en la colina en la parte trasera, se extiende hacia adelante como una planta baja apoyada en columnas de concreto hacia el sótano y finalmente se pliega para formar una piscina de 25 m de longitud a lo largo del borde frontal.

Dado que la velocidad de construcción era importante para Charles, la estrategia de ingeniería consistió en definir rápidamente la interfaz acero / hormigón y empezar a trabajar con este último, aprovechando el tiempo de construcción de la obra húmeda para diseñar los detalles de la estructura de acero.

Foto 1: El enorme compromiso con la estructura de acero galvanizado por inmersión en caliente se evidencia en esta vista de la casa y la terraza de la piscina. **Foto 2:** El marco de acero galvanizado por inmersión en caliente forma un soporte rígido para el piso, el acristalamiento y la plataforma.



1



2

En nuestra opinión, uno de los procesos de diseño de estructuras de acero más satisfactorios es el que permite la colaboración entre el arquitecto y el fabricante desde el principio, y aquí tuvimos suerte. Trabajando en estrecha colaboración con Warren y Charles desde la etapa de desarrollo estructural del concepto, las decisiones de cómo y con qué modular fueron sencillas.

Para los pisos se utilizaron losas prefabricadas ECHO de “peso ligero”, apoyadas sobre vigas de acero que se doblan hacia arriba en nervaduras verticales que soportan balcones y parasoles verticales. La estructura de acero se apuntala horizontalmente mediante una serie de muros verticales de hormigón y conductos de mampostería, unidos mecánicamente en puntos estratégicos tanto al acero como a las losas del piso.

Puntos estructurales decisivos:

- “Vísteme despacio, que estoy apurado”. La casa Charles es minimalista. El acero debía ser modular pero funcional. Las dimensiones de los componentes de acero se seleccionaron y validaron utilizando un modelo de análisis estructural de OASYS de diseño integral.
- ¡Sin refuerzos transversales ni zigzags visibles!
- Como el acero debía ser galvanizado por inmersión en caliente y a la vez estético, hubo que considerar todas las conexiones e interfaces. No podía haber soldaduras ni retoques en el sitio. ¡Gracias a Terry Smith de HDGASA por sus valiosos consejos!
- En la fachada frontal, un primer piso amplio cubre una sala de estar de planta baja inusualmente alta, sin columnas en las esquinas. ¡Creemos que las fotos hablan por sí mismas de esta característica estructural!
- Como se disponía de poco tiempo para la fabricación, Rebcon optó por adquirir elementos estándar, a partir de planos de ingeniería y una serie de diseños de encuentros. Esto no fue tarea fácil y el resultado final se debe en gran parte al compromiso profesional y excepcional de Rebcon con sus productos.

El fabricante

Desde el principio, Charles tuvo la intención de utilizar acero con un acabado galvanizado por inmersión en caliente, sin aplicar ninguna protección adicional contra la corrosión. El sitio está ubicado en un ambiente extremadamente agresivo en la parte superior de la cima en Ballito, por lo tanto, la estructura debía diseñarse de manera que se evitaran las juntas soldadas en obra.

La ubicación de los orificios de ventilación y drenaje se seleccionó cuidadosamente en la etapa de diseño para garantizar que el acabado galvanizado por inmersión en caliente resultara en un buen aspecto arquitectónico con un mínimo de inclusiones o marcas de ceniza.

CTA adoptó una cuadrícula modular que coincidía con las longitudes estándar de los materiales para garantizar un mínimo de desperdicio (recortes). LNA eligió un tamaño de sección común, principalmente secciones de columna universal (UC) de 152 x 152, para mantener la simetría en el tamaño de las secciones. Las secciones en forma de aros se fabricaron a partir de placas, logrando el mismo perfil de sección de 152 x 152 para alinearse con los requisitos de CTA en las esquinas redondeadas.



Foto 3: Vista del cabezal elaborado pero esencial de la columna de acero. **Foto 4:** La estructura galvanizada por inmersión en caliente define claramente los extremos de la plataforma del piso de madera y los componentes del acristalamiento.

Rebcon adquirió e instaló las losas de piso prefabricadas ECHO, asumiendo la responsabilidad de su diseño y geometría en la etapa de proyecto en el taller de acero. Debido a la complejidad del acceso al sitio, la instalación de la estructura de acero y las losas prefabricadas ECHO se ordenó en una cuidadosa secuencia para trabajar desde el punto más alejado hacia la entrada del sitio.

El proyecto fue diseñado por CTA en fases, siendo la estructura principal la fase 1 y 2 y los componentes auxiliares añadidos. El beneficio del uso de acero permitió la flexibilidad de CTA en el diseño de componentes auxiliares.

El medioambiente

El aire frío del sótano pasa a través de un colchón de piedra en gaviones enterrados, a un ventilador de baja energía ubicado en el centro, que hace circular el aire “enfriado” por todo el edificio. La temperatura de la tierra a esta profundidad es constantemente de entre 15 y 17°C. Aunque el aire no se deshumidifica, es suficiente durante la mayor parte del año para aliviar el calor. Un amigo e ingeniero local, Bill Yeo, propuso esta idea experimental.

Las amplias superficies vidriadas de la casa también jugarán un papel importante en el control de la temperatura. El sistema de aberturas es una combinación de productos H.B.S. que permiten vidrios simples o dobles en un mismo módulo.

Debido a que el agua de la piscina se desinfectará sin el uso de productos químicos, gracias a un notable sistema de tratamiento de piscina E-Clear, se puede retro lavar hacia el jardín a través de un reticulado de tuberías convencionales porque no causará la corrosión asociada con las sales o el cloro.

La “Casa Verde” generará su propia electricidad. Un generador eólico de turbina vertical silencioso proporciona 5 Kw de potencia en este sitio particularmente ventoso. El sistema generará suficiente energía para el funcionamiento de todo el hogar, incluido un ascensor monofásico. También podrá inyectar la electricidad excedente a la red local, permitiendo que el medidor eléctrico descuenta algún consumo eventual.

EDIFICIOS DE LA SEDE CENTRAL DE MOBILE TELEPHONE NETWORKS (MTN), JOHANNESBURGO, SUDÁFRICA: FASES 1 y 2 (2005)

Descripción

MTN solicitó el uso de un revestimiento galvanizado por inmersión en caliente de apariencia arquitectónica para proteger la estructura de acero externa de su sede, lograr un aspecto de estructura de acero gris mate y, lo que es más importante, minimizar el mantenimiento futuro.

Ubicación

Fairlands, Johannesburgo

Cantidad de acero utilizado

Aproximadamente 600 toneladas

Usos del acero

Fachadas galvanizadas por inmersión en caliente, rejillas de piso, protectores solares, escaleras, valla perimetral y soportes de paños de sombreado.

Participantes del proyecto

Propietario: MTN.

Promotor: RMB Properties.

Desarrollador: Fikile Stocks.

Arquitecto: Boogertmann & Partners.

Especificador: Africon (actualmente Aurecon) Johannesburgo y Pretoria.

Contratistas: Tass Engineering, Magnet Engineering, Nancy Engineering y Omni Struct.

Galvanizadores por Inmersión en Caliente: Armco Galvanizers, Barloworld Galvanizers y Supergalv.

Fecha de inicio del proyecto

2004 a 2005.

Valor del proyecto

R270 millones (USD 16.500.000.-).

Información

- La calidad del revestimiento galvanizado por inmersión en caliente debía estar por sobre del estándar requerido por la norma ISO 1461 de galvanizado por inmersión en caliente. Por

esta razón se compiló una lista de verificación arquitectónica para los diseñadores y los distintos galvanizadores, que se entregó a los diferentes contratistas.

- Cuando se construyó la Fase 1 de la oficina central de MTN, el arquitecto requirió que una muestra de pasamanos se galvanizara por inmersión en caliente para su montaje en la maqueta del proyecto. Esta maqueta proporcionó al cliente la apariencia esperable de los componentes, antes de que se tomara la decisión final sobre la elección del material o revestimiento para el proyecto. La muestra se galvanizó por inmersión en caliente sin ninguna instrucción previa del contratista al galvanizador en cuanto a la función del componente. Al ver la muestra terminada, que no tenía un atractivo estético, el arquitecto se puso en contacto con la HDGASA para solicitar asistencia. Esto llevó a que se especificara un material alternativo para la barandilla de la Fase 1, por lo que HDGASA solicitó participar en la planificación de la Fase 2. La participación de HDGASA en la Fase 2 llevó a la compilación de una "Lista de Verificación de Arquitectura" y a la elaboración de un procedimiento de reparación restrictivo para su implementación al inicio del proyecto.
- Aunque el uso de galvanizado por inmersión en caliente para fines arquitectónicos es menor en comparación con el uso generalizado del revestimiento en Gauteng, la utilización de una lista de verificación promueve la comunicación efectiva entre todas las partes, aumentando así el uso de galvanizado por inmersión en caliente en aplicaciones de arquitectura.
- Debido a que el galvanizado por inmersión en caliente no requiere mantenimiento a largo plazo, el cliente no tendrá que realizar mantenimiento a los componentes galvanizados en el futuro previsible.
- La capacitación a la mayoría de los miembros del equipo del proyecto mediante reuniones frecuentes en el sitio, seguida de reuniones de personal en las respectivas empresas, aseguró que se implementaran todas las medidas posibles para reducir los errores tanto a corto como a mediano y largo plazo para otros proyectos.
- Las Fases 1 y 2 de la sede de MTN han utilizado acero galvanizado en caliente en múltiples usos como fachadas, rejillas de piso, protectores solares, escaleras, vallas perimetrales y estructuras de soporte de paños de sombreado.
- Se contrataron varios galvanizadores por inmersión en caliente debido al volumen del proyecto, así como al tamaño de los elementos que debían galvanizarse por inmersión en caliente.
- MTN ha apoyado en el pasado la industria del galvanizado por inmersión en caliente a través de sus mástiles en Sudáfrica y al norte de la frontera.
- Se ha forjado una alianza adicional con varios miembros del equipo del proyecto, incluidos el arquitecto, el consultor estructural, el contratista principal y todos los subcontratistas.
- Se prevé que el sistema de "lista de verificación" se comprenderá y mejorará en las fases posteriores del proyecto.



Pueden verse más fotografías en la página 30

BIBLIOTECA NACIONAL, PRETORIA, SUDÁFRICA (2009)



Descripción

La nueva Biblioteca Nacional incorpora un edificio de cuatro pisos, que incluye una plaza pública elevada que conduce a la entrada, pasillos y rampas cubiertos de vidrio y acero galvanizado por inmersión en caliente, así como salas de lectura de doble altura con vistas a las calles.

Ubicación

Pretoria, Gauteng, Sudáfrica

Participantes del proyecto

Ciente: Departamento de Obras Públicas

Arquitectos: Jeremie Malan Architects asociado con Impendulo Design Architects y Gandhi Maseko Lingelighle

Jefe de proyecto: Jeremie Malan Architects

Contratista principal: Rainbow Construction asociado con WBHO

Contratista de acería: Maristeel

Agrimensores: Taljaard Meyer Storm, Lindile Mteza & Associates y Quantity Surveyors Africa

El distrito comercial central de Pretoria en Government Boulevard reúne todos los requisitos para la Biblioteca Nacional, que anteriormente se distribuía en cinco edificios separados.

- Es un proyecto único, totalmente financiado por el Estado, para fomentar y revitalizar la educación, las artes y la cultura en Sudáfrica.
- El 1 de noviembre de 1999, se decidió integrar la Biblioteca de Ciudad del Cabo y la Biblioteca Estatal de Pretoria en una sola Biblioteca Nacional de Sudáfrica. El Campus de Pretoria (Biblioteca Bibliográfica Nacional) y el Campus de Ciudad del Cabo (Biblioteca de Preservación) conformarían esta Biblioteca Nacional.
- El edificio tiene capacidad para 1.500 usuarios, 10 veces mayor que la capacidad de la biblioteca anterior y podrá albergar 3,5 millones de libros en los próximos veinte años.
- La nueva Biblioteca Nacional se ha dividido en dos secciones: la sección de estudios y una sección de investigación, que incluye una sección de publicación oficial extranjera. Esto permitirá a los funcionarios extranjeros acceder a información de sus publicaciones gubernamentales oficiales, promoviendo la Biblioteca como el centro de información de África.
- En 2001 se lanzó una nueva campaña para posicionar la Biblioteca como un ícono para la gente. Esto fue parte de una

iniciativa llamada “Masifunde Sonkwe” que tiene como objetivo promover y mantener una cultura de lectura en Sudáfrica asegurando así la difusión de la herencia y los valores sudafricanos en todas las culturas e idiomas.

- Los materiales utilizados son ladrillo a la vista, hormigón, acero y vidrio, que son de fácil mantenimiento, por lo que los costos se mantienen bajos. La simplicidad de los materiales significa que el edificio no envejecerá rápidamente.
- Los árboles existentes en y alrededor de la propiedad se protegieron y preservaron mediante la imposición de fuertes sanciones por cualquier daño causado.
- Toda la estructura de acero de la fachada se galvanizó por inmersión en caliente. El arquitecto está convencido de que parte del éxito de este proyecto se debió a la participación temprana de HDGASA, así como a las frecuentes reuniones durante todo el proceso.
- Otra contribución a su éxito fueron los planos detallados del arquitecto y el ingeniero consultor, así como los planos de producción del fabricante.
- El arquitecto optó por el galvanizado por inmersión en caliente debido a su bajo mantenimiento, larga vida útil y atractivo estético. Jeremie Malan describe la estética de este proyecto como la naturalidad de los materiales utilizados: el ladrillo oscuro contrasta con las fachadas ligeras galvanizadas por inmersión en caliente, que son atractivas y visualmente agradables.
- Los materiales no fueron seleccionados debido a su perfección en términos de color. De hecho, el ladrillo a la vista, el granito y el galvanizado por inmersión en caliente varían en sus tonalidades.
- Los colores seleccionados en el proyecto representan los colores predominantes de Sudáfrica: oscuro por el ladrillo y el granito, claro para reflejar el cielo y el brillo proyectado por el galvanizado por inmersión en caliente.
- En el proyecto se utilizó la “Lista de Verificación de Arquitectura para Galvanizado en Caliente”, desarrollada por HDGASA. Esta lista de verificación se elaboró originalmente para el edificio MTN y la concreción de una visita a sus oficinas centrales fue la garantía y fuente de información decisiva para la especificación.
- El análisis químico del acero con respecto a su contenido de silicio y fósforo se discutió con todas las partes, incluida Highveld Steel, y se aprobó y se incluyó en todos los planos del consultor. Sin embargo, hubo casos en los que se compró acero a otros proveedores. La falta de disponibilidad de acero específico se planteó como una preocupación, discutida y resuelta en una reunión a la que asistieron todas las partes.
- La ubicación de este proyecto en el centro de Pretoria, con áreas de descarga y depósito limitadas, presentó algunos problemas de logística. La selección de la estructura de acero, tanto en el fabricante como en el galvanizador, requirió el ingenio de todos los involucrados.

CASA ROOLI ELS, PROVINCIA DEL CABO, SUDÁFRICA: UN COMPROMISO CON EL SISTEMA DE REVESTIMIENTO DÚPLEX (2010)

Diseñada en el reverso de una servilleta sobre un plato de calamares en Hermanus, esta casa de vacaciones sobre la playa está cuidadosamente pensada para crear una experiencia de vida extraordinaria. Los principios fundamentales del diseño giran en torno a una intrusión mínima en los fynbos y las dunas que cubren el lugar. Suspender la casa en la pendiente de la duna permite que los fynbos se fundan con ella. Aprovechando el contexto único con vistas panorámicas desde Cape Point hasta Gordon's Bay, la casa está concebida como una caja de vidrio con marco de acero y un techo en forma de parábola para permitir vistas panorámicas a las montañas circundantes. Las paredes externas son puertas corredizas de vidrio plegables y se ocultan mediante contraventanas de listones de madera que se abren hidráulicamente para convertirse en terrazas. Las paredes interiores que separan los espacios de estar y los dormitorios se deslizan durante el día para crear un solo gran espacio que fluye desde los cuatro lados hacia amplias cubiertas en voladizo. El efecto creado es, por lo tanto, un paraguas que se conecta isotrópicamente con el asombroso ambiente que alberga la casa.

El desafío que presentó el proyecto de la casa, que está construyéndose actualmente en el punto de Rooi Els en Western Cape, no fue únicamente la responsabilidad ambiental. También se trabajó sobre la agresividad del entorno: *¿cómo proteger adecuadamente una estructura de acero abierta en una ubicación tan próxima a algunas de las peores condiciones corrosivas del Cabo?*

En el aspecto ambiental, Brandbild ha logrado grandes avances en la protección y rehabilitación de la vegetación de las dunas fuera de los límites del terreno. Usando tela no tejida fabricada de cáscara de coco, sujeta con estacas a las arenas en constante movimiento, se han constreñido a un espacio literalmente no más grande que la superficie perimetral de los pisos en voladizo. Como un homenaje, los fynbos crecen generosamente en las cercas del terreno.

La ubicación de la estructura de acero enfocó rápidamente al equipo de diseño en asegurar su resistencia a la corrosión. Con la necesidad de garantizar la protección contra la corrosión en mente, se formó un equipo entre el fabricante de la estructura, el galvanizador y el fabricante de pintura, que ofreció 15 años de garantía mediante un sistema de revestimiento Dúplex.

Sin duda, esto ha creado un nuevo concepto de los problemas de calidad que rodean la preparación e implementación del sistema



en cada etapa, sin las preocupaciones tradicionales de la interfaz entre una operación y la siguiente. La inusual garantía satisfizo al Consejo Nacional de Registro de Constructores de Viviendas (NHBRC) que, preocupado, había sugerido que quizás el acero inoxidable 316 era el único metal adecuado para el sitio.

Una vez definido el sistema de protección contra la corrosión y con el equipo a bordo, la atención se centró en diseñar un conjunto adecuado de juntas, empalmes y conexiones. La estética arquitectónica del esqueleto de acero es *sin conexiones*, por lo que fue fundamental extender las dimensiones de las partes fabricadas en el taller para minimizar las uniones atornilladas o soldadas en obra. Esto tuvo algunas limitaciones debido al tamaño de los baños de galvanización en Cape Galvanizing y las instalaciones de transporte hasta Rooi Els.

El diseño estructural fue desafiante por los grandes espacios despejados y voladizos exigidos por la arquitectura. Se prestó especial atención a los criterios de deflexión sobre y alrededor de los muros perimetrales vidriados deslizantes-plegables, bajo condiciones de carga de viento particularmente intensas. Linda Ness, de NJV Consulting, realizó un modelo de análisis completo, utilizando el software OASYS, tanto para el diseño, la interfaz de diseño y la comprensión amplia del comportamiento de la estructura de acero.

Arriba: representación gráfica de la casa en el sitio. **Fotos 1 - 2:** Los fabricantes de Apocalypse completaron los intrincados detalles en sus instalaciones de fabricación. **Foto 3:** Los componentes cuidadosamente planificados para ser enmascarados, galvanizados en caliente, imprimados y revestidos en las instalaciones de Cape Galvanizing.



1



2



3



La etapa de los detalles estructurales pudo completarse por PSN, utilizándose el modelado 3D Xsteel, en estrecha colaboración con LNA. Después de discutirlo con el fabricante, los detalles estructurales se refinaron en el diseño, se revisaron en el modelo 3D y se expusieron a un proceso de aprobación visual por parte de Elphick Proome Architects, quienes estuvieron al tanto del desarrollo estructural en todas sus etapas, para conservar las filosofías originales del diseño. Finalmente, los detalles constructivos básicos se enviaron a las instalaciones de fabricación. Los fabricantes de Apocalypse lograron el equilibrio entre los intrincados detalles de la arquitectura minimalista, la estructura abierta de acero y los servicios intermedios. De esta manera, los detalles iniciales de la obra se completaron en la fábrica (fotos 1 - 2). No menos importante que estas complejidades fue el desarrollo de un sistema mecánico de cortinas único (foto 4) que requirió una serie de dispositivos complejos para alojar las partes móviles. Como dato adicional: los orificios pretaladrados para la fijación de partes de la

estructura, como el techo, las persianas, los vidrios y otros accesorios, generaron poco más de 1.600 kg de viruta.

La superficie de la fábrica Apocalypse en Gordon's Bay, un área más pequeña que la planta final, se convirtió en una instalación de prefabricación a gran escala. Los componentes de la estructura, tanto el perímetro del piso como el del techo, se fabricaron y preensamblaron en la planta antes de ser divididos en partes cuidadosamente identificadas para ser enmascaradas, galvanizadas por inmersión en caliente, imprimadas y revestidas en las instalaciones de Cape Galvanizing (foto 3). El acero se entregó en la obra para su montaje en dos fases separadas: perímetro del piso y techo (fotos 5 - 10). La soldadura se llevó a cabo en el sitio en los extremos de las secciones que habían sido enmascarados antes del galvanizado por inmersión en caliente y protegidas con revestimiento rico en zinc antes de la aplicación del sistema de revestimiento final de pintura.

La estructura del piso es una losa plana de concreto reforzado enmarcada por un canal de acero y sostenida sobre un reticulado de columnas de acero atornilladas a pilotes reforzados mediante pernos HD de acero inoxidable 316 aislados (el único acero inoxidable utilizado en las estructuras primarias). El canal perimetral posee una secuencia regular de fajas tubulares apuntaladas y en voladizo, que sostienen la veranda perimetral de listones de madera. En el exterior se utilizaron tubos para minimizar los bordes afilados -que se asocian a la corrosión acelerada de las secciones angulares laminadas en caliente- y también para favorecer el lavado natural durante las lluvias.

Las columnas de acero se extienden ininterrumpidamente hasta el plano del techo, donde se unen a un marco de vigas de alma abierta que rodea la casa y, en última instancia, forma un triforio vidriado. De este armazón surge otra serie de pórticos en voladizo que emulan la veranda de abajo y forman un soporte para las cortinas mecánicas, y un alero estrecho de techo revestido en el que se ubican los servicios. Las vigas curvas y las

SISTEMA DE REVESTIMIENTO		Ficha técnica	Espesor de revestimiento (µm)		Intervalo mínimo entre manos a 20°C
Capas	Revestimiento		Película húmeda	Película seca	
1	Sigmacover 280	7417	175	100	8 horas
1	Sigmacover 435	7465	160	100	8 horas
1	Sigmafast 210	7541	180	100	8 horas
3	ESPESOR TOTAL DE LA PELÍCULA SECA			300 µm	
SISTEMA DE REVESTIMIENTO		Ficha técnica	Espesor de revestimiento (µm)		Intervalo mínimo entre manos a 20°C
Capas	Revestimiento		Película húmeda	Película seca	
1	Sigmafast 210	7541	70	40	8 horas
3	ESPESOR TOTAL DE LA PELÍCULA SECA			300 µm	

Tablas 1 y 2

correas laminadas en frío forman la grilla del techo, revestido con cerámica delgada y con un cielorraso de madera.

Aunque el proyecto aún no se ha completado, es fácil afirmar que ningún aspecto de un proyecto de este tipo eclipsa a otro, y que todos los diseñadores y constructores exigieron la atención completa de cada parte involucrada. La protección contra la corrosión de los medios estructurales primarios de hormigón armado y estructuras de acero se consideró prioritariamente desde el principio del proyecto.

En el momento de redactar este informe, el 95% de la estructura de acero está erigida, no se han requerido ajustes a las partes previamente ensambladas en fábrica y sólo se perforaron unas dos docenas de orificios en obra, lo que es un testimonio de precisión. Esto a su vez significa que la conservación del sistema de protección sigue siendo óptima, antes de la limpieza final y la aplicación del último revestimiento en obra.

Sistema de protección contra la corrosión de estructuras de acero

Como las condiciones atmosféricas son marinas severas (típicamente C5), creíamos que era necesario un sistema de revestimiento completo para lograr un alto grado de control de la corrosión y, en última instancia, satisfacer al cliente. El sistema de revestimiento comprendía lo siguiente:

- Toda la estructura de acero excepto la tubería fue tratada por abrasión antes del galvanizado por inmersión en caliente. Aunque el pulido abrasivo no es siempre necesario antes del galvanizado por inmersión en caliente, creemos que hay ocasiones en las que los filetes y canales de las vigas estructurales IPN presentan una rugosidad que a menudo resulta en un acabado rugoso del galvanizado. Esta rugosidad aumenta cuando la superficie galvanizada se reviste con pintura.
- Galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo con la norma ISO 1461.
- El revestimiento galvanizado por inmersión en caliente se limpió por abrasión para eliminar la aspereza de la superficie, los golpes y grumos hasta un grado aceptable de tersura (esto es relativo en comparación con una superficie limpiada con gas o con cuchilla de aire en láminas galvanizadas en caliente en sistema continuo). A continuación, el revestimiento se limpió químicamente usando almohadillas Scotch Brite y un producto de limpieza apropiado para hierro galvanizado.
- Una vez limpio, el galvanizado por inmersión en caliente se pintó en fábrica como se muestra en la Tabla 1.



9

La aplicación en fábrica se realizó por pulverización sin aire.

Para eliminar las uniones atornilladas (por motivos estéticos), todas las uniones se soldaron en el sitio, asegurando un aspecto de delicadeza estructural. Las áreas de soldadura se trataron con una máscara "Galvastop" para garantizar la exclusión localizada del revestimiento de zinc (esto es esencial cuando se suelda con fines estructurales). El sistema de pintura subsiguiente también se recortó de manera apropiada, de modo que cada revestimiento, incluido el galvanizado por inmersión en caliente, pudiera reinstalarse de manera apropiada después de realizar la soldadura en el sitio.

Una vez que se hayan completado todas las reparaciones del revestimiento en el sitio, se pintará toda la estructura con pincel o rodillo de la siguiente manera:

Preparación de la superficie

Enjuague de las superficies con agua potable para eliminar sales. Debe usarse desengrasante si la superficie ha sido contaminada con aceite o grasa mineral o vegetal.

Sistema de revestimiento

Ver tabla 2

La aplicación en el sitio debe realizarse con pincel o rodillo.

Requisitos especiales del fabricante de pintura: La preparación de la superficie y la aplicación deben realizarse de acuerdo con la ficha técnica de cada producto, la presente especificación y la especificación general de pintura de Sigma Coatings.

Es responsabilidad del aplicador asegurarse de que puede lograr el espesor de película seca requerido para todas y cada una de las capas, en una sola operación. Si se requieren capas múltiples debido al método de aplicación u otro motivo, deben respetarse las instrucciones de Sigma Coatings y toda la mano de obra adicional será por cuenta exclusiva del aplicador.

Si la superficie se contamina entre las capas, debe lavarse a fondo para eliminar toda la contaminación antes de aplicar la capa siguiente.

El aplicador es responsable de contar con un sistema de garantía y control de calidad operativo y auditable.

El aplicador deberá proveer supervisión identificable y de tiempo completo en la obra.

El espesor total del revestimiento una vez terminado, incluido el galvanizado por inmersión en caliente, será de aproximadamente 450 µm.

¡UN SISTEMA COMPLETO DE PROTECCIÓN Y REVESTIMIENTO!



10

S8 RECONOCIMIENTOS

Se reconoce a las siguientes empresas y personas por sus respectivas contribuciones:

Página 13	Perfiles de soporte para letreros galvanizados por inmersión en caliente continua o general (2011): Strutfast (Pty) Ltd., Johannesburgo.
Página 16	Limpieza abrasiva para diferentes revestimientos (2013): Iain Dodds (Ex Cape Galvanizing), Ciudad del Cabo.
Página 19	¿Qué es protección catódica y qué no lo es? (2012): Gerald Haynes de CTC, Johannesburgo.
Página 20	Imprimaciones de zinc: descripción general (2005): Dr. Colin Alvey (ex Asesor en Corrosión, Servicios Técnicos Randburg, Johannesburgo).
Página 23	Control eficaz de la corrosión (2013): Iain Dodds (Ex Cape Galvanizing), Ciudad del Cabo, en colaboración con Jan van Eijnsbergen & Chandler & Bayliss.
Página 25	Pintura sobre acero galvanizado (2011): Iain Dodds (Ex Cape Galvanizing), Ciudad del Cabo.
Página 27	Revestimiento Dúplex, eficaz después de 14 años (2014): Aecom Bellville, Ciudad del Cabo.
Página 29	Diferencia entre fragilización por hidrógeno y fragilización por trabajo en frío (2014): American Galvanizers Association (AGA), Departamento Técnico. Escrito por Bernardo A. Duran III.
Página 31	Poniendo en contexto la fragilización por hidrógeno en elementos de fijación (2012): Prof. Waldo Stumpf, Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Pretoria.
Página 34	Chimeneas de la Central Generadora de Medupi: proyección térmica de zinc metálico sobre vigas de alma llena (2011): Robor Galvanizers (actualmente Monoweld)
Página 36	El uso del galvanizado por inmersión en caliente en minería en Sudáfrica (2014): Terry Smith, Ex Director Técnico de Marketing, Asociación de Galvanizadores por Inmersión en Caliente de Sudáfrica (HDGASA). Con reconocimientos a: Bob Wilmot, Ex Director Ejecutivo de HDGASA; Walter Barnett, exdirector ejecutivo de HDGASA (fallecido); Bob Andrew, Ingeniero Consultor de Valor y Miembro Honorario Vitalicio de HDGASA; Koos Viljoen, Petro SA y Richard Rood de KBR; Thinus Schmidt de Anglo Coal; Anglo American, Anglogold Ashanti y Amplats (Servicios de Gestión de Anglo Platinum).
Página 47	Construcción del Centro de Control del Servicio de Policía de Sudáfrica (2012): Neal Fisher de The Matrix Urban Designers and Architects.
Página 49	House Taylor, Ballito Bay, KwaZulu Natal: Un compromiso con el acero galvanizado por inmersión en caliente (2012): Charles Taylor de Charles Taylor Architects y Linda Ness de NJV Consulting.
Página 51	Edificios de la Sede de MTN: Fases 1 y 2 (2005): Aurecon y MTN
Página 53	House Rooi Els: Un compromiso con el sistema de revestimiento Dúplex (2010): Elphick Proome Architects; Linda Ness de NJV Consulting; Contratista: Branbild (Pty) Ltd; Fabricante - Apocalipsis cc; Galvanizadores y aplicadores de pintura - Cape Galvanizing (Pty) Ltd; Fabricante de pintura - Sigma Coatings.