



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Control de Calidad de Soldadura y Recubrimientos en la
Fabricación de Tubos y Accesorios de Acero para la
Conducción de Agua Potable - Proyecto de Rehabilitación
Grandes Acueductos Plan Huancavilca”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Fabricio Paúl Costa Cañizares

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2013

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas las bendiciones que me ha dado y han hecho posible alcanzar esta meta.

Al **Ing. Omar Serrano V.** Director de Tesis, por su apoyo y colaboración para la ejecución de este trabajo.

A mi Esposa por el incondicional apoyo y empuje para desarrollar y cumplir esta meta así como también a mis padres quienes siempre me apoyaron durante todo este periodo, y demás personas que directamente e indirectamente han colaborado con la elaboración de este trabajo

DEDICATORIA

A mis Padres por el esfuerzo que realizaron para darme la oportunidad de poder estudiar.

A mi esposa e hijas por el incondicional apoyo y por quienes seguiré esforzándome para siempre darles lo mejor.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph. D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Omar Serrano V.
DIRECTOR

Ing. Rodrigo Perugachi B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Fabricio Paúl Costa Cañizares

RESUMEN

En este documento se implantan especificaciones y procedimientos, sustentados en normativas internacionales, para lograr la correcta fabricación y aplicar los controles de calidad necesarios para garantizar la durabilidad y correcta operación de los tubos y accesorios de acero fabricados para el transporte de agua a presión. La guía principal para este estudio y análisis es la norma AWWA C200 junto con especificaciones establecidas por la empresa responsable de la captación, potabilización, distribución y tratamiento del agua en la ciudad de Guayaquil.

Luego de una investigación sobre los grandes acueductos por los que se transporta el agua potable a todos los sectores urbanos y rurales de la ciudad de Guayaquil, se han definido varios puntos, los cuales ameritan algún tipo de intervención para poder mantener su funcionamiento y servicio.

La meta principal en el desarrollo de esta tesis es obtener una especificación técnica de los controles de calidad necesarios en todos los procesos de fabricación como son: selección de material, soldadura, tratamiento superficial y recubrimientos.

Con la definición de estas especificaciones se podrá obtener y garantizar elementos cuyas propiedades sean perdurables en el tiempo, disminuyendo las frecuencias de mantenimiento y reparación, generando rentabilidad a la empresa concesionaria encargada del manejo del agua.

Resultado del análisis, implementación de las especificaciones dadas en las normativas y procedimientos, este documento queda como una guía general para el control de calidad en la fabricación de los tubos de acero que trabajan a presión. Esta guía puede ser aplicada para cualquier proyecto que se considere esta aplicación, independiente del diámetro.

Estos procesos quedan como una especificación técnica tanto para el fabricante como para el fiscalizador de este tipo de trabajos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	3
1.1 Justificación e importancia de la rehabilitación de las redes de grandes acueductos de Agua potable.....	4
1.2 Características técnicas de las redes de acueductos de agua Potable.....	6
1.3 Normas aplicables.....	8
CAPÍTULO 2	
2. PROCESO DE FABRICACION DE TUBOS Y ACCESORIOS DE ACERO.....	15
2.1 Selección del tipo de acero.....	16

2.2	Calculo del espesor de lámina de acero.....	17
2.3	Fabricación del tubo o accesorio.....	20
2.3.1	Rolado de planchas.....	20
2.3.2	Soldadura longitudinal y circunferencial.....	22
2.3.3	Tipos de junta aplicables.....	29
2.4	Recubrimientos.....	32
2.4.1	Tratamiento Superficial.....	32
2.4.2	Recubrimiento por pinturas.....	35
2.4.2.1	Recubrimiento Exterior.....	36
2.4.2.2	Recubrimiento Interior.....	37
2.4.3	Curado del recubrimiento.....	38
2.4.4	Recubrimiento por Galvanizado en caliente.....	39

CAPÍTULO 3

3.	APLICACIÓN DE CODIGOS DE SOLDADURA.....	41
3.1	Requerimientos generales.....	41
3.2	Procesos de soldadura.....	42
3.3	Calificaciones.....	43
3.3.1	Proceso para la calificación de las especificaciones de los Procedimientos de soldadura (WPS) y Procedimiento de registro de calificación (PQR).....	44

3.3.2	Proceso para la calificación del soldador y del operador de soldadura (WPQ).....	47
-------	--	----

CAPÍTULO 4

4.	CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA Y RECUBRIMIENTOS.....	51
4.1	Requerimientos generales.....	51
4.2	Inspección de Soldaduras.....	52
4.2.1	Visual.....	54
4.2.2	Líquidos Penetrantes.....	57
4.3	Criterios de Aceptación y Rechazo.....	61
4.4	Control de Reparaciones.....	71
4.5	Preparación de Superficie previa Aplicación del recubrimiento....	72
4.6	Aplicación del Recubrimiento.....	73
4.7	Control de espesores de recubrimiento.....	75
4.8	Criterios de aceptación final del elemento.....	75

CAPÍTULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
----	-------------------------------------	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

HPT	Hormigón Pretensado
PEAD	Polietileno de alta densidad
AWWA	American Water Works Association
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing Material
ASME	American Society of Mechanical Engineers
AWS	American Welding Society
ASNT	American Society of Non Destructive Test
SSPC	Steel Structures Painting Council
NACE	National Association of Corrosion Engineers
EN	Comité Europeo de Normalización
KPa	Kilopascales
Mm	milímetros
SMAW	Shielded metal arc welding
GMAW	Gas metal arc welding
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
SAW	Submerged arc welding
WPS	Welding procedure specification (Proceso de calificación de las especificaciones de soldadura)
PQR	Procedure qualification record (Procedimiento de registro de calificación de soldadura)
WQR	Welder qualification record (Proceso para la calificación del soldador y del operador de soldadura)
END	Ensayos No Destructivos
VT	Inspección Visual
PT	Líquidos Penetrantes

MT	Partículas Magnéticas
ET	Electromagnetismo
RT	Radiografías
UT	Ultrasonido

SIMBOLOGÍA

t	Espesor mínimo de la pared del tubo conociendo la presión nominal de trabajo, mm.
P	presión interna de diseño, KPa
D	dímetro externo de la tubería, mm.
S	esfuerzo de diseño mínimo de fluencia del material, KPa
µm	micras
mil	mils
g	gramos
Km	Kilometro

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Estructura del Tubo de Hpt	7
Figura 2.1 Proceso de Soldadura Smaw.	22
Figura 2.2 Soldadura Metálica con Arco Eléctrico y Gas (Gmaw).	24
Figura 2.3 Soldadura con Arco Sumergido	26
Figura 2.4 Tipos de Junta para Soldar	30
Figura 2.5 Elementos Básicos de la Junta	31
Figura 2.6 Diseño Básico de la Junta	31
Figura 4.1 Muestra de Aplicación de Líquido Penetrante	59
Figura 4.2 Esquema de Proceso de Radiografía	60
Figura 4.3 Desalineación de una Junta a Tope.	62
Figura 4.4 Fisura Longitudinal	64
Figura 4.5 Fisura Transversal	64
Figura 4.6 Fisura de Pie	64
Figura 4.7 Fisura de Garganta y de Raíz	64
Figura 4.8 Poros Distribuidos Uniformemente	65
Figura 4.9 Poros Agrupados	65
Figura 4.10 Poros Alineados Unidos por una Fisura	66
Figura 4.11 Poros Superficiales Alargados (Vermicular)	66
Figura 4.12 Socavadura o Mordedura	67
Figura 4.13 Socavadura Adyacente a Soldadura de Bisel	67
Figura 4.14 Socavación en Cordón de Soldadura de Bisel	68
Figura 4.15 Solapado en Soldadura de Filete y Con Bisel	69
Figura 4.16 Concavidad Externa	69
Figura 4.17 Concavidad Interna	69
Figura 4.18 Salpicadura en Vecindad de Cordón de Soldadura	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Planchas, Laminas y Coladas de Acero para la Fabricación de Tubos	16
Tabla 2	Espesor Teórico de Tubería de Acero para Transporte de Agua a Presión	18
Tabla 3	Espesores Comerciales para la Fabricación de Tubos de Acero	20
Tabla 5	Perfil de Altura o Rugosidad Aproximada de Acero Tratado con Abrasivos de Tamaño Diferente	34
Tabla 6	Espesor de Recubrimiento por Galvanizado en Caliente Dependiendo el Diámetro	40
Tabla 7	Pruebas de Calificación para Soldadura a Tope	46
Tabla 8	Qw-452.1(A) Muestras de Ensayo	49
Tabla 9	Clasificación de End	52
Tabla 10	Control de Reparaciones de Defectos de Soldadura	71

ÍNDICE DE PLANOS

Tubo de Recambio Acero 1500mm. Para Acueducto HPT-A2

en Acera Parterre

(Ver después del Capítulo 5)

INTRODUCCIÓN

En el transcurso del año 2011 la concesionaria de captación, distribución y tratamiento de aguas de la ciudad de Guayaquil, realizó un programa de inspecciones internas de los grandes acueductos de la ciudad, utilizando varias tecnologías.

Como resultado de estas inspecciones se identifican varios tubos de las redes de distintos diámetros, que ameritan algún tipo de intervención para prolongar el tiempo de vida útil del elemento para el cual fue diseñado.

Se ejecuta un plan de intervención analizando los factores influyentes y determinando fechas específicas para la ejecución de los trabajos de cambio de los tramos de tubería afectado.

De esto y con las experiencias pasadas en cambio de tramos de tubería de acueducto afectado, nace la necesidad de elaborar un procedimiento donde se especifiquen los controles de calidad necesarios que se deben realizar al Kit de reparación, que van desde la correcta selección del material, procedimientos de soldadura y calificación de soldadores, ensayos no destructivos a soldadura, controles en tratamiento superficial, especificaciones y controles para el recubrimiento de la tubería; pudiendo así garantizar un mayor tiempo de vida útil y asegurar su calidad estructural.

De esta manera la empresa optimizará su inversión garantizando un elemento que dará una mayor durabilidad en el tiempo, con menores costos de mantenimiento, mejorando y asegurando la calidad de servicio en la distribución de agua potable a la ciudadanía del territorio y perímetros de Guayaquil de los cuales es responsable la concesionaria.

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los grandes acueductos de transporte de agua potable que son distribuidos desde la planta de tratamiento de LA TOMA de INTERAGUA ubicada en el km 25 vía a Daule y que en su mayoría recorren hasta el sector centro - norte de la ciudad de Guayaquil, son de varios materiales y diámetros.

Como tuberías de Acero con recubrimientos de pintura y diámetros de 2000mm, 1800mm y 1250mm., tuberías de Hormigón Pretensado o HPT en diámetros de 1500mm y 1050mm.

Como primera etapa de investigación se realizó un análisis a los acueductos tanto de 1250mm de acero, con tecnología de ultrasonido, lo que ayudó a determinar la condición estructural de las láminas de acero y picaduras o fugas, efecto en su mayoría de desgaste del material o causas de efectos corrosivos, y en la tubería de 1050mm de HPT con

tecnología electromagnética con la que se pudo determinar daños puntuales en la estructura de la tubería.

1.1 Justificación e Importancia de la Rehabilitación de las Redes de Grandes Acueductos de Agua Potable.

En los daños reportados luego de la inspección realizada a los acueductos de 1250mm, tubería de acero con recubrimiento por pinturas, se detectaron varios puntos que presentaban picaduras en las paredes, de dimensiones de hasta 1/2 pulgada de diámetro aproximadamente. Estos daños en el acueducto ocasionan perjuicios a terrenos y propiedades aledañas por la constante saturación de agua en el terreno, lo que ocasionaba una inestabilidad del suelo y problemas de inundación.

En el caso de la tubería de HPT, la inspección detectó puntos en donde la tubería ha sido afectada estructuralmente y son puntos críticos eminentes de colapso o explosión, debido a su configuración, lo que al igual que en el caso de las tuberías de acero ocasionaría daños considerables en las estructuras aledañas e inundaciones en sus alrededores.

Estos daños, adicional a los perjuicios materiales ocasionados a sus cercanías, tienen una alta repercusión en costos de distribución a la concesionaria. Por un daño intempestivo de estos acueductos, para su reparación, es necesario el cierre total de una de las líneas de distribución, por lo que se dejaría a la ciudadanía sin dotación de agua potable aproximadamente de un 30% a 50% de los usuarios de la ciudad de Guayaquil por un periodo aproximado de 24 horas. Cada vez que exista un evento de estas condiciones es responsabilidad de la concesionaria dotar del servicio de agua potable a toda la población afectada, lo que conlleva a una logística de personal operativo, equipos de distribución de agua potable y todo lo necesario para la reparación del daño, generando altos costos a la empresa y grandes perjuicios a la ciudadanía en general.

Con estos antecedentes, la concesionaria se ve en la necesidad de realizar un programa de rehabilitación de los grandes acueductos de la ciudad de Guayaquil en los puntos detectados por las inspecciones internas, tratando de prever daños intempestivos que ocasionen afectaciones a los usuarios.

De esta manera, con una correcta programación e informando al usuario con antelación se podrá controlar la afectación, se

generarán menores costos para abastecer al usuario afectado y principalmente se extenderá el tiempo de vida útil de los acueductos existentes.

1.2 Características Técnicas Generales de las Redes de Acueductos de Agua.

Las tuberías de acueductos para transporte de agua potable, en general por las condiciones específicas y configuraciones geográficas que se manejan en la ciudad deben estar diseñadas para soportar presiones nominales de 10 Bares o 100 metros de columna de agua, aunque en lugares específicos se pueden llegar a considerar presiones de diseño de 16 o 25 bares.

Dependiendo del material específico de la tubería, ésta cumple con especificaciones y características especiales que deben ser consideradas para entender su funcionamiento y poder seleccionar el método y características adecuadas que se aplicará en la reparación y/o tubería de recambio.

Tubería de Hormigón Pretensado.- Tubería de Hormigón armado a cuya armadura se le da una tensión inicial que produce en el hormigón un estado de compresión capaz de compensar las

tracciones producidas por efecto de las presiones interiores máximas a que va a estar sometida la tubería.

De entre los tipos de tubería existente, en las líneas de distribución de agua potable de Guayaquil, se ha considerado tubería de tipo con chapa de acero cilíndrica con soldadura longitudinal y transversal que cumple la función de estanqueidad y envuelve o cubre al hormigón primario. Sobre este se coloca un alambre de acero de alta resistencia que se enrolla helicoidalmente alrededor del núcleo, a una tensión previamente fijada, que se designa "tensión de zunchado", y finalmente posee una capa exterior, de espesor y naturaleza variables, cuya misión principal es la protección del alambre.



FIGURA 1.1 ESTRUCTURA DEL TUBO DE HPT

Este es el tipo estándar de tubería de hormigón pretensado usada para esta aplicación, transporte de agua a presión.

Tuberías de acero al carbono.- Tuberías fabricadas con planchas de acero al carbono con soldadura longitudinal o helicoidal con espesores variables dependiendo su diámetro y presión normal de trabajo. Su recubrimiento generalmente es con pinturas y actualmente estas pueden ser con recubrimiento de PEAD.

1.3 Normas Aplicables

El estricto uso de los estándares para la fabricación de los distintos tipos de elementos en la ingeniería y en general, aportan a la industria para garantizar el acoplamiento de elementos construidos independientemente, el repuesto en caso de ser necesario, la calidad de los elementos fabricados y la seguridad de funcionamiento.

La normalización tiene bien definidos tres objetivos que buscan la simplificación en los modelos de fabricación, la unificación de criterios y medidas para facilitar el intercambio a nivel internacional así como también la especificación que busca identificar el elemento con un lenguaje claro, preciso y común entre los distintos actores.

Adicional es un aporte de varios años de experiencia y estudios que disminuyen los costos generados por mantenimiento o reparación y facilita la capacitación o entrenamiento del personal en distintas índoles generando confianza al consumidor final conociendo que el producto cumple con estándares nacionales e internacionales que regulan su fabricación.

Para la fabricación de los tubos de acero para transporte de agua a presión se aplican los estándares de la AWWA C200 acreditada por la ANSI; los materiales están regidos por la clasificación ASTM, accesorios o elementos del tubo por normas EN, mientras que los controles de los procesos tanto de soldadura como de recubrimiento por los códigos ASME, ASNT, NACE.

A continuación se detalla la importancia y atribución de estas normas para la fabricación de tubos y accesorios de acero para el transporte de agua a presión.

ANSI

El ANSI (American National Standards Institute) es un organismo nacional de normalización de los Estados Unidos de América y miembro de la organización internacional de estandarización ISO.

El ANSI ha acreditado a organizaciones privadas de normalización como son AWWA, ASTM, ASME, AWS, ASNT, SSPC, NACE cada uno independiente en un área o temas específicos y que se hace referencia para la fabricación de los tubos y accesorios de acero para transporte de agua a presión.

AWWA

El AWWA (American Water Works Association) es un organismo privado de normalización bajo los procedimientos del ANSI

Entre los estándares y manuales emitidos por el AWWA, para la fabricación de los tubos y accesorios de acero para transporte de agua a presión se guía bajo la norma AWWA C200 para los parámetros de fabricación y el manual M11 donde se especifican las guías para el diseño e instalación de las tuberías de acero. Estos documentos son las principales guías que se consideran para la fabricación de estos elementos en lo que responde a obras en la ciudad de Guayaquil.

Dentro de esta norma y manual para el control y parámetros de algunos procesos dentro de la fabricación, se consideran entre otros los siguientes capítulos de la norma AWWA:

- AWWA C-203, para recubrimiento externo en base Coal-Tar

- AWWA C-210 para recubrimientos interno y externo con bases epóxicas

ASTM

American Society for Testing Material es una organización internacional privada de normalización que estandariza y define los tipos de materiales y ensayos para todo tipo de industria.

Con más de 12,000 normas internacionales de ASTM que abarcan áreas tales como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, el medio ambiente, productos para consumidores, dispositivos y servicios médicos y productos electrónicos.

Dentro de estas para definición de material y algunos ensayos se consideran normas ASTM como:

- ASTM A-36 Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- ASTM A-283 ASTM A283 / A283M Standard Specification for Low and Intermediate Tensile Strength Carbon Steel Plates
- ASTM A-53 Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless
- ASTM A-572 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel

ASME

American Society of Mechanical Engineers es un organismo privado de normalización que ha desarrollado códigos guías sobre diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes a presión.

Entre estos y que son de aplicación para la fabricación de los tubos de acero para transporte de agua a presión se consideran los siguientes códigos del ASME:

- SEC IX de ANSI/ASME Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators.

AWS

American Welding Society es un organismo privado de normalización que define y controla los avances en la ciencia, tecnología y aplicación en los procesos de soldadura, tipos de unión y procesos de cortado, incluyendo soldabilidad y tratamientos térmicos a los materiales.

Entre estos los capítulos considerados para la fabricación de los tubos de acero son:

- AWS B2.1 Specification for Welding Procedure and Performance Qualification

ASNT

La American Society of Non Destructive Test o sociedad americana de ensayos no destructivos es un organismo privado que define los parámetros y procedimiento para la realización de ensayos no destructivos sobre distintos tipos de materiales, así mismo crea estándares y servicios para la calificación y certificación del personal técnico que realiza los ensayos no destructivos bajo el esquema americano.

SSPC

La Steel Structures Painting Council es una organización privada que crea estándares enfocados en la preparación superficial del acero previo a realizar algún tipo de recubrimiento..

Para este caso se ha considerado los siguientes capítulos:

- SSPC-AB3 Ferrous Metallic Abrasive
- SSPC – SP – 10 Metal casi blanco

NACE

La National Association of Corrosion Engineers es una organización privada que controla mediante estándares los distintos tipos de métodos de protección anticorrosiva sobre las estructuras metálicas.

En esta incluye sobre el tratamiento superficial y la aplicación de recubrimientos. Este estándar es equivalente al SSPC.

CAPÍTULO 2

2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBOS Y ACCESORIOS DE ACERO

La fabricación de los tubos de acero se realiza según lo indicado en los planos de diseño entregados por la empresa contratante. Una muestra para la fabricación de tubo de diámetro 1500mm se puede observar en el plano AP 3664.

Para este fin, el ingeniero encargado del proyecto debe procurar que el elemento a fabricar, cumpla con todos los parámetros establecidos tanto por el diseño como por las normativas que aplica.

En el transcurso de este documento se establecerán todos los controles necesarios para poder garantizar que el tubo de acero este fabricado conforme las especificaciones y garantice un tiempo de vida útil rentable para la empresa operadora del agua potable.

2.1 Selección del Tipo de Acero

Según la normativa AWWA C200 las características y tipos de los materiales que se pueden considerar para la fabricación de los tubos y accesorios de acero son los que se indican en la tabla 1.

TABLA 1
PLANCHAS, LAMINAS Y COLADAS DE ACERO PARA LA
FABRICACION DE TUBOS

Especificación	Grado	Esfuerzo mínimo de Fluencia	
		psi	Mpa
	Plancha de Acero		
ASTM A36/A36M		36000	248
ASTM A283/A283M	C	30000	207
	D	33000	228
ASTM A572/A572M	42	42000	290
	50	50000	345
ASTM A1011/1011M	Acero Estructural (SS)		
	30	30000	207
	33	33000	228
	36	36000	248
	40	40000	276
	45	45000	310
	50	50000	345
	55	55000	380
	Alta resistencia – aceros de baja aleación (HSLAS)		
	45	45000	310
	50	50000	345
	55	55000	380
	Alta resistencia – aceros de baja aleación con formabilidad aplicada(HSLAS-F)		
	50	50000	345
ASTM A1018/1018M	Acero Estructural (SS)		
	30	30000	207
	33	33000	228
	36	36000	248
	40	40000	276

Alta resistencia – aceros de baja aleación (HSLAS)			
45	45000	310	
50	50000	345	
55	55000	380	
Alta resistencia – aceros de baja aleación con formabilidad aplicada(HSLAS-F)			
50	50000	345	

Dada la disponibilidad en el mercado local y los costos asociados, como estándar se especifica para obras de fabricación de tubos de acero para transporte de agua en la ciudad de Guayaquil los tipos ASTM A36 y ASTM A283 grado D.

Estos materiales serán considerados en planchas en las medidas comerciales que se encuentra en el mercado, dependiendo de las dimensiones del tubo o accesorio a fabricar.

2.2 Cálculo del espesor de lámina de acero

Como se indica en el manual AWWA M11 para el cálculo del espesor mínimo de pared del tubo de acero conociendo la presión de trabajo a la que va a estar sometido el tubo se aplica la fórmula de Barlow que indica:

$$t = \frac{pd}{2s} \quad \text{donde:}$$

t = Espesor mínimo de la pared del tubo conociendo la presión nominal de trabajo, mm.

P = presión interna de diseño, KPa

D = diámetro externo de la tubería, mm.

S = esfuerzo de diseño mínimo de fluencia del material, KPa

Para el caso de las tuberías de los grandes acueductos de la ciudad de Guayaquil con la variable del diámetro y considerando como estándar una presión nominal de 10 bares (1000 kPa) y usando el material base acero de tipo ASTM A36 nos da como resultado los espesores indicados en la tabla 2:

TABLA 2
ESPESOR TEÓRICO DE TUBERÍA DE ACERO
PARA TRANSPORTE DE AGUA A PRESIÓN

Diámetro externo (mm)	Espesor teórico (mm)
1050	4.23
1250	5.03
1500	6.04
1800	7.25
2000	8.06

Factores de Seguridad en el Diseño

Al diseñar tuberías de revestimiento (tramos o columnas) los valores publicados de sus propiedades mecánicas como de tensión, aplastamiento y estallido, contienen factores de seguridad adecuados basados en la resistencia mínima del acero a la deformación permanente que podría sufrir el mismo al estar sometido a distintas cargas. Con el factor de seguridad se busca asegurarse que la tubería, en el peor de los casos, se mantendrá íntegra.

Considerando las distintas variables, en general el valor del factor de seguridad que se considera en el diseño para el cálculo del espesor de las tuberías de acero es de 1.7

De esta manera la tabla de espesores para los distintos diámetros considerados, tomando en cuenta los espesores comerciales se indican en la tabla 3.

TABLA 3
ESPEORES COMERCIALES PARA LA FABRICACIÓN
DE TUBOS DE ACERO

Diámetro externo (mm)	Espesor teórico (mm)	Espesor calculado con factor de seguridad 1.7 (mm)	Espesor comercial a ser considerado (mm)
1050	4.23	7.191	8
1250	5.03	8.551	9
1500	6.04	10.268	10
1800	7.25	12.325	12
2000	8.06	13.702	14

2.3 Fabricación del tubo o accesorio

2.3.1 Rolado de planchas

El rolado es un proceso común para la manufactura de tubos de acero, el cual consiste en un proceso continuo en el que una lámina es sometida a una serie de rodillos que le proporcionan a la tira de acero una forma específica.

Las características que definen al producto que sale del rolado son, el diámetro del tubo y su espesor de pared. Una vez obtenida la forma tubular, los bordes son soldados para formar una sección cerrada.

Posteriormente se afina al diámetro requerido, haciendo pasar el tubo por otro conjunto de rodillos. La fabricación de tubos habitualmente es efectuada por talleres especializados.

Para garantizar la correcta curvatura y uniformidad en taller se usa una plantilla semicircular que tiene el mismo diámetro exterior que el tubo a fabricarse. La plantilla debe ser colocada en el borde del tubo para compararla y ambas tienen que coincidir.

Posterior al rolado se realizan puntos de soldadura para retener los bordes de la junta en una posición alineada apropiada.

Tolerancias de o validez o redondez

Según la normativa AWWA C200 en su capítulo 4.12.2 referente a la redondez indica que la circunferencia del tubo rolado no puede variar en más del $\pm 1\%$ de su circunferencia externa pero no excederá los 19mm de su circunferencia nominal exterior.

Esto debe ser controlado en taller previo a realizar los cordones de soldadura.

2.3.2 Soldadura longitudinal y circunferencial

La soldadura longitudinal y circunferencial puede ser ejecutada aplicando varios procesos de soldadura por arco los cuales deben estar especificados en el WPS y PQR respectivos.

Los procesos considerados pueden ser:

SMAW.- Proceso de soldadura eléctrico con electrodo revestido en donde la unión del metal se produce por el calentamiento del arco eléctrico entre el electrodo y el material base, el metal de relleno se obtiene del electrodo al fundirse con el metal base. Este proceso se emplea de forma manual y permite trabajar en cualquier posición.

Este proceso se ilustra en la figura 2.1

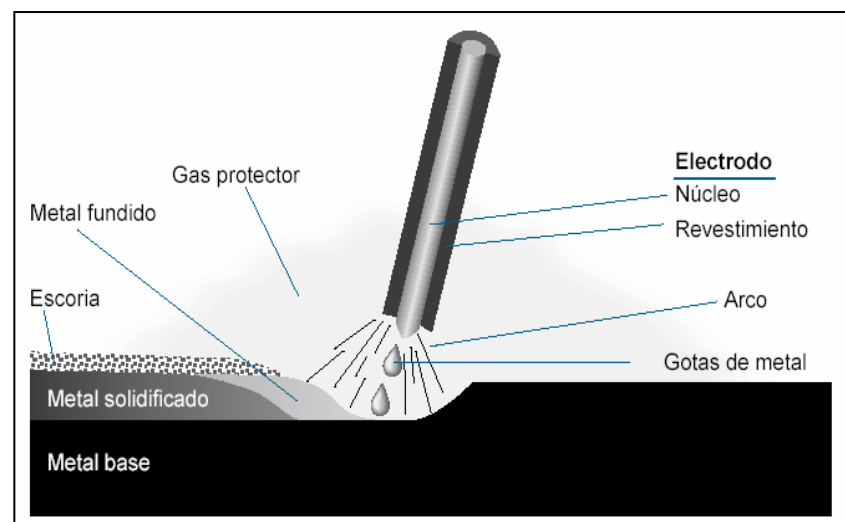


FIGURA 2.1.- PROCESO DE SOLDADURA SMAW.

Este proceso es considerado de fácil operación y bajos costos, lo que lo vuelve muy versátil y de consideración para su uso.

Las desventajas radican en ser un proceso manual, por lo que dependerá mucho de la habilidad y calificación del operador, otra desventaja es el uso de varillas de electrodos consumibles que por lo general tienen una longitud entre 230mm a 460mm y un diámetro de 2.5 a 9.5mm lo que genera varias paras por cambio de electrodo, por desgaste durante el proceso, discontinuidades y cambio de los niveles de corriente que pueden darse.

Los electrodos considerados para este proceso deben cumplir con el material de aporte de especificación AWS A5.1.

GMAW (MIG/MAG).- Proceso de soldadura que deposita material de aporte en forma continua y depende de la protección abastecida por un gas el cual además de proteger la soldadura del aire y sus componentes ayuda a la desoxidación y estabilidad del arco entre el material de aporte y el material base. El material de aporte es un alambre metálico desnudo consumible que se alimenta en

forma continua y automática desde una bobina a través de la pistola de soldadura. En este proceso se usa diámetros de alambre que van desde 0.8 a 6.4 mm, el tamaño depende del grosor de las partes que se van a unir y la velocidad de deposición deseada. Este proceso se ilustra en la figura 2.2.

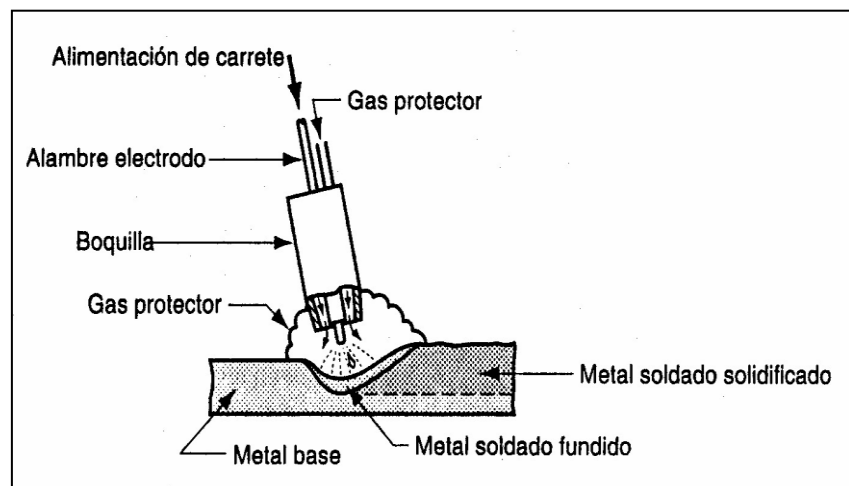


FIGURA 2.2 SOLDADURA METÁLICA CON ARCO ELÉCTRICO Y GAS (GMAW).

El electrodo seleccionado debe cumplir con lo especificado en la normativa AWS A5.18 ó AWS A5.28.

Este proceso tiene los siguientes beneficios:

1. No genera escoria.
2. Alta velocidad de deposición.
3. Alta eficiencia de deposición.

4. Fácil de usar.
5. Mínima salpicadura.
6. Aplicable a altos rangos de espesores.
7. Baja generación de humos.
8. Es económica.
9. La pistola y los cables de soldadura son ligeros haciendo más fácil su manipulación.
10. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
11. Rapidez de deposición.
12. Alto rendimiento.
13. Posibilidad de automatización.

SAW.- Proceso de soldadura que usa un arco eléctrico entre un electrodo de alambre desnudo continuo, consumible, de metal de aporte y el metal base formando un charco de soldadura el cual está sumergido en un manto de fundente granular o polvo que lo protege del aire. Este proceso se muestra en la figura 2.3.

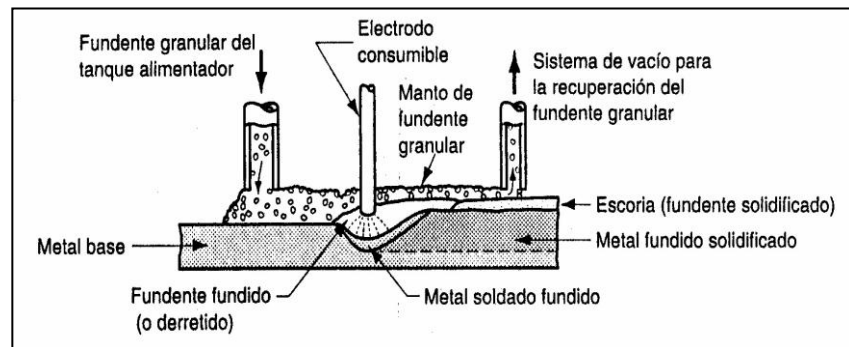


FIGURA 2.3 SOLDADURA CON ARCO SUMERGIDO

El alambre para soldadura por arco sumergido se emplea en forma de bobinas y debe estar cobreado; esto evita la oxidación superficial en el almacenaje y proporciona seguridad en el contacto eléctrico.

La composición de los alambres para soldadura por arco sumergido depende del material que se suelda, puesto que los elementos aleados se añaden generalmente al alambre y no al fundente.

El electrodo considerado debe cumplir con la normativa AWS A5.17 y AWS A5.23.

El arco sumergido, respecto de los otros procesos de soldadura, ofrece las siguientes ventajas:

- Las juntas pueden ser preparadas en “V” con poca profundidad debido a la elevada penetración del

proceso, obteniéndose con esto un menor consumo de alambre y fundente.

- Los procesos de soldadura pueden realizarse a altas velocidades debido a la elevada intensidad con que se opera en la mayoría de las aplicaciones.
- No es necesario proteger al operador de la máquina de la emisión de radiación, ya que el arco se encuentra sumergido en el fundente, evitándose además las salpicaduras del metal fundido.
- El fundente actúa como un desoxidante protegiendo el arco y aportando elementos de aleación al cordón en el caso de emplear fundentes aleados.

Por otro lado, las limitaciones del proceso son:

- Muchas soldaduras requieren algún tipo de respaldo para evitar la perforación del metal base, este respaldo puede ser del mismo material o de un material mucho más resistente que el anterior.
- Este proceso conlleva un tiempo de preparación mayor que otros.
- Con este sistema generalmente se sueldan piezas a partir de los 5 mm de espesor.

En general Los procesos de soldadura se pueden llevar a cabo satisfactoriamente siguiendo los siguientes pasos.

Limpieza: La pieza debe estar totalmente limpia, libre de óxidos superficiales, lubricantes, etc., utilizando algún solvente adecuado.

Biselar: El bisel apropiado de la junta va de acuerdo al espesor de material a soldar y lo especificado en el WPS correspondiente. Para esto, se puede biselar con algún medio mecánico y/o utilizando un electrodo para biselar.

Pre calentamiento: El objetivo del pre calentamiento es evitar una disipación demasiadas rápida del calor proporcionado por el arco eléctrico, es decir evitar un enfriamiento brusco que ocasione un transformación estructural en el acero. El pre calentamiento será más o menos fuerte, de acuerdo al tamaño de la pieza, del espesor a unir y al contenido del carbono. En piezas pequeñas, el pre calentamiento muchas veces será innecesario.

SOLDAR: Seleccionar el electrodo más adecuado, del menor diámetro posible, para usar el menor amperaje posible. Soldar con cordones cortos y alternados, para no elevar excesivamente la temperatura de la pieza. Martillar cada cordón, para aliviar las tensiones internas provocadas por la contracción del cordón de soldadura, cuando este se comienza a enfriar.

Enfriamiento lento: Tiene como objetivo no permitir un enfriamiento brusco, que produzca un cambio estructural en la zona soldada. El enfriamiento lento asegura que éste sea uniforme en toda la pieza, equilibrando una contracción pareja.

2.3.3 Tipos de Junta Aplicables

Los tipos de juntas dependen de factores como el tamaño y forma de los miembros que forman la junta, el tipo de carga, la cantidad de área en la junta disponible para soldar. Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas, aunque en la práctica se consiguen muchas variaciones y combinaciones: a tope, en L, en T, solapada y en borde. Un número de diferentes tipos de soldadura puede ser aplicado a cada tipo de junta dependiendo del diseño de la

junta. El diseño de la junta identifica, “la forma, las dimensiones y la configuración de la junta”

Dada las dimensiones de espesor de las planchas consideradas que van de 8 a 14mm, en general, el tipo de junta considerada será a tope para la fabricación del tubo y en L para la unión de accesorios o bridas. Estos tipos de junta se indican en la figura 2.4.

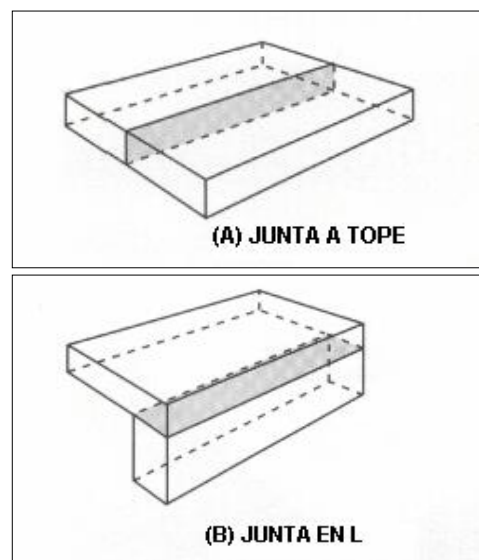


FIGURA 2.4 TIPOS DE JUNTA PARA SOLDAR

El diseño específico con las dimensiones de las partes de la junta soldada debe estar indicado en cada procedimiento de soldadura para la fabricación del tubo o accesorio.

Para el caso de la junta de unión en las planchas roladas para conformar el tubo se usara junta a tope con bisel en "V".

Las partes básicas de la junta se indican en la figura 2.5

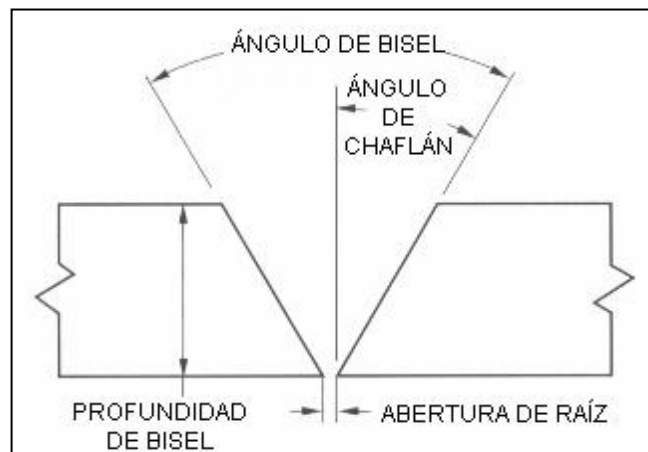


FIGURA 2.5 ELEMENTOS BASICOS DE LA JUNTA

En general se puede considerar el diseño indicado en la figura 2.6 que de igual manera debe estar especificado en el respectivo WPS.

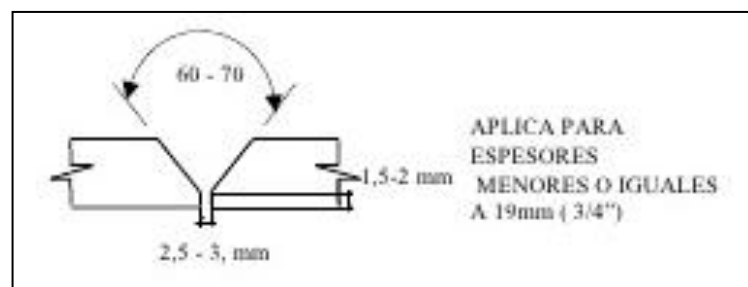


FIGURA 2.6 DISEÑO BASICO DE LA JUNTA

2.4 Recubrimientos.

2.4.1 Tratamiento Superficial

Previo a cualquier tipo de revestimiento o recubrimiento se debe realizar una adecuada preparación superficial mediante equipos de limpieza con chorro de abrasivo a presión tanto interna como externamente al grado de Metal casi blanco, la superficie debe tener un color gris claro estar libre de contaminantes visibles (grasa, aceite, combustibles), contaminantes no visibles (sales) y deben eliminarse sombras de oxidación visibles en un 95%. Seguir procedimiento de Norma NACE N° 2 / SSPC 10.

La preparación superficial debe ir acorde con lo especificado según el tipo de recubrimiento que se vaya a dar, se debe seguir las recomendaciones según la marca de pintura o recubrimiento a ser aplicado.

Selección del abrasivo

El abrasivo usado debe de ser compatible con los requerimientos de la norma SSPC-AB3.

Para la aplicación buscada el abrasivo seleccionado debe ser granalla de acero angular que debido a su peso y dureza es magnífico para realizar preparación de superficies en aplicación de recubrimientos ya que deja un anclaje muy profundo. La granalla de acero es el abrasivo que más se utiliza para hacer limpiezas para preparación de superficie ya que otra ventaja del gran peso de su partícula es la baja generación de polvo y como ya se ha mencionado su anclaje profundo es ideal para la aplicación de recubrimientos de alta tecnología. Puede ser reutilizada 40 y en algunos casos hasta 200 veces. La duración de una boquilla con inserto de carburo de tungsteno con granalla, varía de entre 500 ± 800 horas de trabajo.

Según las especificaciones de la SSPC el tamaño del abrasivo seleccionado, que para esta aplicación será granalla de acero (Steel Grit) o bolas de acero (Steel Shot), su tamaño, dependiendo el perfil de rugosidad y tipo de limpieza que se requiere, puede ser como se indica en la tabla 4.

TABLA 4
PERFIL DE ALTURA O RUGOSIDAD APROXIMADA DE
ACERO TRATADO
CON ABRASIVOS DE TAMAÑO DIFERENTE

ABRASIVE	Profile Height				
	25 μm 1 mil	37 μm 1.5 mil	50 μm 2 mil	63 μm 2.5 mil	75-100 μm 3-4 mil
Silica Sand	30/60 mesh	16/35 mesh	16/35 mesh	8/35 mesh	8/20 mesh
Steel Grit	G80	G50	G40	G40	G25
Steel Shot	S110	S170	S280	S280	S330
Garnet	80 mesh	36 mesh	36 mesh	16 mesh	16 mesh
Aluminum Oxide	100 grit	50 grit	36 grit	24 grit	16 grit

* These profile heights are typical if the nozzle pressure is between 620 and 700 kPa (90 and 100 psi).

La granalla metálica seleccionada debe cumplir con las especificaciones por sus formas y tamaños, de acuerdo con normas específicas, tales como, SAE J444 y SFSA 20-66. Así mismo se debe confirmar el cumplimiento con las normas SAE J445 que especifica los ensayos mecánicos en las granallas metálicas, y SAE J827 que establece límites para los desvíos de forma, composición química, microestructura, dureza y contaminantes no magnéticos.

Para la fabricación de tubos y accesorios de acero descrito en este trabajo se considerará un tamaño de abrasivo de granalla de acero angular de G40 a G25 siempre y cuando

cumpla con lo especificado en la data técnica de la pintura considerada para el recubrimiento seleccionado.

2.4.2 Recubrimiento por pinturas

Para la protección del metal contra el ataque corrosivo por el medio al que se encontrará expuesto, es necesario dar una protección adicional al tubo o accesorio que proteja de dos modos principales; en primer lugar que provean una protección de barrera (con la ayuda de la película del producto de la corrosión, que proporcione una protección adicional temporal) y, en segundo, proporcionar una protección galvánica.

Para la aplicación del recubrimiento por pintura en la fabricación de los tubos y accesorios de acero, se seguirá las especificaciones descritas en la normativa AWWA C200 cumpliendo con un espesor mínimo de 400 micras tanto en su superficie interna como externa.

El recubrimiento por pintura se realizará a toda tubería o accesorio cuyo diámetro sea mayor a 600mm.

2.4.2.1 Recubrimiento Exterior

El recubrimiento exterior luego de la preparación de la superficie según especificaciones del punto 2.4.1 de este documento y estándares AWWA C200 y manual AWWA M11, debe ser aplicado con revestimiento de:

- a) Recubrimiento en base Coaltar según norma AWWA C203;

Pintura con base en alquitrán de hulla cuya capa externa posee un componente fibroso de vidrio para reforzar y dar mayor resistencia a la capa de pintura de protección.

- b) Fusión Bonded Epoxi (FBE) o resina epóxica líquida según norma AWWA C213; sistema de recubrimiento que consiste en la aplicación de pintura epóxica en forma de polvo que luego es sometido a un proceso de calentamiento para que este se adhiera a la superficie a cubrir.

- c) Recubrimiento en base micro-protectora de uretano que contenga inhibidores de micro-corrosión volátiles para protección de la estructura metálica.

En el ANEXO 1 se presentan hojas técnicas de pinturas de este tipo que se pueden considerar para estas aplicaciones.

- d) Capas de pintura epoxi, según AWWA C210; sistema de recubrimiento que consiste en varias capas de pintura epóxica o una capa de pintura epóxica como primer y como segunda capa y capa de acabado una mezcla química en base epóxica o coal-tar epóxico.

Los Anexos 2 y 3 presentan hojas técnicas de pinturas de este tipo que se pueden considerar para estas aplicaciones.

2.4.2.2 Recubrimiento Interior

- e) El recubrimiento interior luego de la preparación de la superficie según especificaciones del punto 2.4.1 de este documento, estándares AWWA C200 y manual AWWA M11, debe ser aplicado únicamente con revestimiento de capas de pintura epoxi, según AWWA C210 asegurando que esta tenga certificaciones para aplicación en elementos de grado de consumo alimenticio. En el ANEXO 3

se presentan hojas técnicas de pinturas de este tipo que se pueden considerar para estas aplicaciones.

2.4.3 Curado del recubrimiento

Cada tipo de recubrimiento, debido a sus componentes y propiedades químicas, físicas y mecánicas tienen condiciones específicas de tiempos de curado y aplicación.

Para el caso del análisis de este trabajo se debe seguir las recomendaciones dadas en la hoja técnica de cada tipo de pintura considerado, en donde se indican las condiciones ambientales para su aplicación, tiempo de espera para aplicación de capas de pintura adicional y tiempo de curado total para que el elemento pueda ser sometido a cargas mecánicas e hidráulicas.

El tiempo de curado será el factor predominante para la selección del tipo de pintura a usarse, considerando siempre la conformidad con el estándar específico del tipo de pintura seleccionada.

Las características químicas, físicas, mecánicas y tiempos de curado podrán revisarse en la hoja técnica que se encuentran como anexos del 1 al 3.

2.4.4 Recubrimiento por Galvanizado en Caliente

El galvanizado es el proceso de recubrimiento que consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que al ser el zinc más oxidable, menos noble que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

Se usa de modo general en tuberías para la conducción de agua cuya temperatura no sobrepase los 60 °C, ya que entonces se invierte la polaridad del zinc respecto del acero del tubo y éste se corroe en vez de estar protegido por el zinc.

Para tubos y accesorios de diámetro menor a 600 mm, se aplicará interna y externamente limpieza química y galvanización por inmersión en caliente según la norma ASTM A123M. En general en los elementos fabricados de estos diámetros el sistema de unión considerado debe ser por unión mecánica, de preferencia la unión bridada según Norma EN1092-1 salvo que el diseño indique otro tipo de unión y especificación.

La masa del recubrimiento galvanizado por unidad de superficie (entendida ésta como la superficie interior y exterior del tubo) no será inferior a 350 g/m².

Los espesores mínimos recomendados dependiendo el espesor de la lámina de acero se indica en la tabla 5.

TABLA 5
ESPEJOR DE RECUBRIMIENTO POR GALVANIZADO EN CALIENTE DEPENDIENDO EL DIAMETRO

ESPEJOR DE * LÁMINA DE ACERO V (MM) a	ESPEJOR DE RECUBRIMIENTO POR GALVANIZADO EN CALIENTE* (µM)
Entre 1 y 3	50
Entre 3 y 6	75
Mayor a 6	80

CAPÍTULO 3

3. APLICACIÓN DE CÓDIGOS DE SOLDADURA.

Conforme a lo indicado en este documento y a las especificaciones técnicas del contratante, los tubos de acero para transporte de agua a presión responden al estándar de fabricación AWWA C200, mismo que en lo referente a soldadura direcciona al código ASME IX de calderas y recipientes a presión.

El código define las pruebas de calificación de los procedimientos de soldadura, calificación de soldadores, operadores de soldadura que están diseñadas para ofrecer garantía de que las soldaduras producidas tienen la resistencia, ductilidad y dureza conforme con lo dispuesto en el código.

3.1 Requerimientos Generales

Todo constructor adjudicado o encargado para la fabricación del tubo o accesorio de acero es responsable de la elaboración y

calificación de los procesos de soldadura y soldadores, guiándose en los códigos de soldadura ya mencionados y siguiendo los formatos indicados en los acápites 3.3 de este capítulo.

Es responsabilidad del fiscalizador o supervisor de la obra verificar que los procesos y calificación de soldadores hayan sido elaborados y revisados por personal calificado, que en este caso debe ser un inspector de soldadura acreditado.

El material base considerado para la fabricación de tubos y accesorios serán los aceros ASTM A36 ó ASTM A283 grado D.

3.2 Procesos de Soldadura

Los procesos considerados serán los mencionados en el capítulo 2.3.2 tomando en cuenta los siguientes parámetros para la selección del proceso.

- a) Los procesos SMAW y GMAW (MIG) serán considerados cuando:
 - i. Las cantidades a fabricar sean menor a 36 metros
 - ii. Los tiempos plazo para la fabricación permita el uso de procesos manuales.
 - iii. El material de aporte existente para estos procesos sea compatible con el material base.

- b) El proceso SAW será considerado cuando:
- i. Las cantidades a fabricar sean mayor a 36 metros y ameriten una fabricación en serie.
 - ii. El material de aporte existente para estos procesos sea compatible con el material base.

El procedimiento seleccionado, así como la especificación del material de aporte considerado y la configuración de junta de soldadura deben estar descritos en el WPS siguiendo los parámetros y formatos indicados en el código de soldadura y descritos en el capítulo 3.3 de este documento.

3.3 Calificaciones

La calificación de los procesos de soldadura y soldadores debe cumplir con las especificaciones y formatos descritos en el código ASME IX indicando todos los parámetros que requiere la norma y que se mencionan a continuación:

3.3.1 Proceso para la Calificación de las Especificaciones de los Procedimientos de Soldadura (WPS) y Procedimiento de Registro de Calificación (PQR)

El WPS (Welding Procedure Specification) es un documento que relaciona las variables a considerar en la realización de una soldadura específica, determina la ejecución de las pruebas de calificación tanto de proceso y procedimiento como del operario de soldadura.

En este proceso se deben incluir las variables esenciales, suplementarias y no esenciales para tener claro el alcance del procedimiento y saber cuándo debe ser solicitado una recalificación.

Para llenar el WPS se debe seguir el formato recomendado en la sección IX del ASME, formato QW-482 del apéndice B. Un ejemplo de este formato lleno para la fabricación de tubos de acero, de neoplos fabricados dentro del proyecto de rehabilitación del Plan Huancavilca, se muestra en el anexo 4

El PQR (Procedure Qualification Records) relaciona el conjunto de elementos utilizados para calificar el WPS y los

resultados de las pruebas realizadas a las probetas que se extraigan.

Los parámetros que se usarán para calificar un procedimiento de soldadura, serán los indicados en el siguiente artículo de la sección IX del ASME:

- Artículo II: Calificaciones de los Procedimientos de Soldadura
 - QW-200: General
 - QW-210: Preparación de los cupones de prueba
 - QW-250: Variables de la soldadura

El PQR busca la verificación de las propiedades mecánicas de la soldadura realizando la documentación de los ensayos destructivos ejecutados sobre las probetas extraídas de los cupones de prueba, lo que implica una prueba de soldabilidad que como mínimo deben ser: dos pruebas de tensión y cuatro pruebas de dobles. Esto según se indica en la tabla 6 extraída de la tabla QW-451.1 del código ASME sección IX para calificación de soldadura a tope.

TABLA 6
PRUEBAS DE CALIFICACIÓN PARA SOLDADURA A TOPE

QW-451.1 PRUEBAS DE TENSION Y PRUEBAS DE DOBLEZ TRANSVERSAL DE SOLDADURA EN RANURA							
Espesor T de Muestra de Prueba Soldadura, pulg.	Orden de Espesor T de Metal Base Calificado, pulg. [Nota (1)]		Espesor t de Metal de Soldadura Depositado Calificado, pulg. [Nota (1)]	Tipo y Número de Pruebas Requeridas Pruebas de Tensión y de Doblez Guiado [Nota (4)]			
	Min.	Máx.	Máx.	Tensión QW-150	Doblez Lateral QW-160	Doblez de Cara QW-160	Doblez de Raíz QW-160
Menos de $\frac{1}{16}$	T	2T	2t	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ a $\frac{1}{8}$, incl.	$\frac{1}{16}$	2T	2t	2	Nota (3)	2	2
Arriba de $\frac{1}{8}$, pero menos de $\frac{3}{16}$	$\frac{1}{16}$	2T	2t	2	Nota (3)	2	2
$\frac{3}{16}$ hasta menos de $1\frac{1}{2}$	$\frac{1}{16}$	2T	2t cuando $t < \frac{3}{16}$	2 (5)	4	...	...
$\frac{3}{16}$ hasta menos de $1\frac{1}{2}$	$\frac{1}{16}$	2T	2T cuando $t \geq \frac{3}{16}$	2 (5)	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ y más	$\frac{1}{16}$	8 (2)	2t cuando $t < \frac{3}{16}$	2 (5)	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ y más	$\frac{1}{16}$	8 (2)	8 (2) cuando $t \geq \frac{3}{16}$	2 (5)	4	...	...

NOTAS:

La realización de ensayos adicionales como tenacidad, radiografías y macrografía, quedarán a criterio del inspector de soldadura encargado y del fiscalizador de la obra.

Para llenar el PQR se debe seguir el formato recomendado en la sección IX del ASME, formato QW-483 del apéndice B. Un ejemplo de este formato lleno para la fabricación de tubos de acero, de neoplas fabricados dentro del proyecto de rehabilitación del Plan Huancavilca, se muestra en el anexo 5.

3.3.2 Proceso para la Calificación del Soldador y del Operador de Soldadura (WPQ)

El Registro de la Calificación de Habilidad del Soldador o del Operador es un documento usado para registrar las calificaciones de los soldadores u operadores de soldadura de acuerdo a un WPS ya calificado.

El WPQ documenta que los soldadores u operadores tengan la habilidad necesaria para depositar un metal de soldadura sano, para el proceso usado, dentro de los límites de calificación que estipula el WPS de referencia usado. Adicional indica los rangos de diámetros de tubería fabricada para los cuales el soldador u el Operador está calificado en relación a lo demostrado.

Estos puntos se los indica en los siguientes capítulos de la sección IX del ASME:

- Artículo III: Calificaciones de la Habilidad de los Soldadores
 - QW-300: General
 - QW-310: Cupón de prueba para la calificación

- QW-320: Re-pruebas y renovación de la calificación
- QW-350: Variables de soldadura para los soldadores
- QW-360: Variables de soldadura para los operadores de soldadura
- QW-380: Procesos especiales

Es necesario que cada soldador y operador de soldadura tenga asignado un número, letra, o símbolo de identificación, el cual tiene que ser usado para identificar sus trabajos y estará referenciado en los registros de su respectiva calificación.

El número de probetas tomadas para calificar al operador y que debe estar indicado en el WPQ, se muestran en la tabla 3.2 extraída de la tabla QW-452.1 del código ASME sección IX.

TABLA 7
QW-452.1(a) MUESTRAS DE ENSAYO

Espesor del Metal de soldadura pulg. (mm)	Tipo y número de ensayos y muestras de ensayos requeridos			
	Exámenes Visuales según QW-302.4	Doble lateral QW-462.2 [Nota (1)]	Doble de cara QW-462.3 (a) o QW-462.3 (b) [Notas (1), (2)]	Doble de raíz QW-462.3 (a) o QW-462.3 (b) [Notas (1), (2)]
Menor a 3/8 (10)	X	...	1	1
De 3/8 (10) a menos de 3/4 (19)	X	2 [Nota (1)]	Nota (3)	Nota (3)
3/4 (19) y mayores	X	2	...	...

Nota general: El “Espesor del metal de soldadura” es el total del espesor del metal de aporte depositado por todo soldador y todo procedimiento en la muestra de ensayo exclusivo del refuerzo de soldadura

NOTAS:

- (1) Para calificar las posiciones 5G o 6G, un total de cuatro muestras de dobles son requeridas. Para calificar una combinación de 2G y 5G, una muestra de ensayo, un total de seis muestras de doblez serán requeridas. Ver QW-302.3. El tipo de prueba de doblez será basada en el espesor del metal de aporte.
- (2) Las muestras ensayadas por doblez de cara y raíz deben ser limitadas al depósito de soldadura de un

soldador con uno o dos procesos o con dos soldadores con un solo proceso cada uno. El depósito de soldadura realizada por cada soldador y cada proceso debe ser presentado en la cara convexa de la apropiada muestra doblada.

- (3) Una muestra de dobles de cara y raíz puede ser sustituido por dos muestras de doblez lateral.

Para llenar el WPQ se debe seguir el formato recomendado en la sección IX del ASME, formato QW-484A del apéndice B. Un ejemplo de este formato lleno para la fabricación de tubos de acero, de neplios fabricados dentro del proyecto de rehabilitación del Plan Huancavilca, se muestra en el anexo 6.

CAPÍTULO 4

4. CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA Y RECUBRIMIENTOS.

4.1 Requerimientos Generales.

Para la aceptación del elemento a fabricarse, sea este tubo o accesorio de acero se deben seguir procedimientos y verificar que cada paso ha sido desarrollado conforme las especificaciones de este documento y las normativas aplicables a la fabricación.

Será responsabilidad del constructor garantizar la calidad del elemento fabricado y responsabilidad del fiscalizador o supervisor contar con todos los soportes de ensayos de control de calidad en cada uno de sus procesos.

Cada uno de estos reportes debe estar revisado y aprobado por el ingeniero responsable y calificado para realizar este tipo de comprobaciones.

4.2 Inspección de Soldaduras

La verificación o inspección de las soldaduras realizadas, se las ejecuta por medio de ensayos no destructivos de soldadura o END que es la realización de cualquier tipo de prueba practicada en el material de aporte de soldadura que no altera de forma permanente sus propiedades mecánicas, físicas, dimensionales o químicas.

Mediante los END se pueden identificar ya sean discontinuidades superficiales o internas del cordón de soldadura, esto dependerá del método aplicado para la detección de las mismas.

Los END se clasifican según la posición en donde se localizan las discontinuidades y se los designa según lo especificado en el estándar ANSI/AWS A2.4 como se indica en la tabla 8.

TABLA 8
CLASIFICACIÓN DE END

LOCALIZACIÓN DE DISCONTINUIDADES			
SUPERFICIALES		VOLUMÉTRICAS	
MÉTODO DE ENSAYO	LETRA DE DESIGNACIÓN	MÉTODO DE ENSAYO	LETRA DE DESIGNACIÓN
Inspección Visual	VT	Radiografía	RT
Líquidos penetrantes	PT	Ultrasonido	UT
Partículas magnéticas	MT	Emisión Acústica	AET
Electromagnetismo	ET		

Los END superficiales son aquellos que ayudan a visualizar o encontrar las discontinuidades superficiales con los métodos VT y PT, y sub-superficiales que son las que se encuentran muy cercanas a la superficie con los ensayos de MT y ET.

Los END volumétricos ayudan a encontrar las discontinuidades internas y sub-superficiales del cordón de soldadura. Bajo ciertas circunstancias puede ayudar a determinar discontinuidades superficiales aunque para esto se recomienda los métodos descritos en el párrafo anterior.

En general para el control de calidad de la soldadura en la fabricación de tubos y accesorios de acero para el transporte de agua a presión se realizarán los ensayos de PT al 100% de los cordones de soldadura. Dependiendo de la cantidad del proyecto se realizarán ensayos por RT hasta en un 10% del total de la soldadura existente, esto se considerará cuando sea una fabricación en serie o cuando el ingeniero fiscalizador lo crea necesario.

Otros END pueden ser aplicados previo análisis y autorización del departamento de control de calidad o ingeniero especializado en

soldadura (del contratante), analizando las condiciones particulares del proyecto u obra.

El personal que realice los END debe ser personal calificado o acreditado por la ASNT quien regula los procedimientos y criterios sobre éstos.

Para el ensayo VT solo puede ser realizado por un inspector de soldadura calificado por la AWS.

El personal calificado para realizar los END debe ser acreditado bajo las normas ISO 9712 o SNT-TC-1^a que establecen los parámetros para calificar al personal que aplica END en todos sus niveles.

Brevemente se describirán los END que serán aplicables para el control de calidad en la fabricación de tubos y accesorios de acero.

4.2.1 Visual

Ensayo o prueba que permite obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que estén siendo evaluados ya que permite observar muchas características de una unión soldada, algunas relacionadas

con las dimensiones y otras acerca de la presencia de discontinuidades dentro de las piezas soldadas.

Este ensayo debe ser ejecutado durante el proceso de las uniones soldadas, terminado el cordón de soldadura y previo a cualquier otro END que se vaya a realizar. Esto puede ayudar a determinar discontinuidades que ameriten algún tipo de intervención evitando de este modo su posterior rechazo o aplicación innecesaria de otro END.

Para facilitar la inspección visual, es necesario el empleo de ciertos instrumentos como pueden ser: cintas métricas, reglas, falsas escuadras, calibres, galgas, equipos de medición de temperaturas o presiones, dispositivos de iluminación y medios ópticos auxiliares (comprobadores de superficies, sistemas fotoeléctricos, proyectores de perfiles, lupas y endoscopios).

Dentro del proceso de inspección visual, el tamaño de la soldadura es muy importante, ya que afecta directamente la resistencia mecánica de la unión y sus relativas consecuencias en caso de no ser adecuado. Las

discontinuidades en los cordones son muy importantes ya que son las imperfecciones interiores o adyacentes a la soldadura las que disminuyen la resistencia para la cual fue diseñada. Las discontinuidades, de inaceptables dimensiones y localización, se denominan defectos de soldadura, y pueden ser causas de falla prematura.

Las soldaduras deberán reunir los siguientes requisitos visuales después de la ejecución del cordón de soldadura:

1. La soldadura deberá estar libre de grietas.
2. Todas las grietas deben rellenarse a través de toda la sección de la soldadura.
3. La cara de la soldadura deberá estar al ras con la superficie del metal base, y el cordón deberá fusionarse suavemente con el metal base. El socavamiento no deberá exceder 1mm. El reforzamiento de la soldadura no deberá exceder de 3mm.
4. La raíz de la soldadura será inspeccionada y no deberá haber evidencia de grietas, fusión incompleta, o penetración inadecuada en la unión. Una raíz de superficie cóncava es permitida dentro de los límites

normalizados, de manera que el espesor total de la soldadura sea igual o mayor al del metal base.

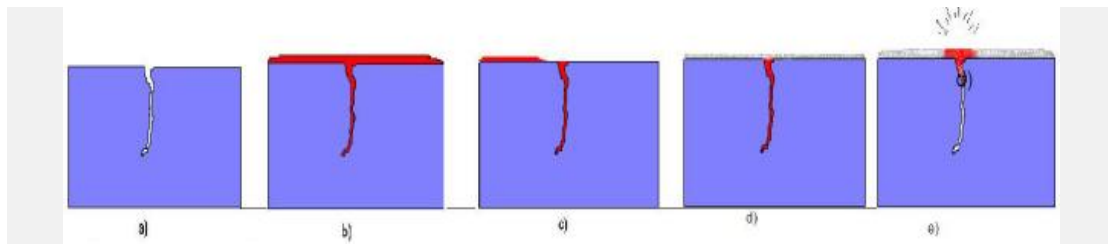
4.2.2 Líquidos Penetrantes

END cuya finalidad es la detección de discontinuidades, porosidades, fisuras o grietas en la superficie del cordón de soldadura de todos los metales.

Actualmente la técnica de LP, se puede resumir en los siguientes pasos que se ilustran en la figura 4.1

1. Limpieza inicial y secado: Consiste en limpiar perfectamente la zona de interés a ser ensayada de tal forma de dejar las posibles discontinuidades libres de suciedad o materiales extraños y su posterior secado.
2. Aplicación del Líquido Penetrante y Tiempo de penetración: Cubrir la superficie de interés con el LP y dejar transcurrir el tiempo necesario para permitir que el LP se introduzca por capilaridad en las discontinuidades
3. Limpieza intermedia: Se removerá el exceso de LP de la superficie, evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las fallas. Esta remoción, podrá hacerse, según la técnica empleada, mediante:

- a) lavado con agua.
 - b) aplicando un emulsionante y posterior lavado con agua.
 - c) mediante solventes.
4. Secado (según la técnica): Se secará la pieza del agente limpiador. Este paso puede ser obviado según la técnica utilizada.
 5. Aplicación del revelador: Sobre la superficie ya preparada se colocará el revelador en forma seca o finamente pulverizada en una suspensión acuosa o alcohólica, que una vez evaporada, deja una fina capa de polvo.
 6. Inspección y evaluación: Esta fina capa de revelador absorberá el LP retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible, ya sea por contraste o por fluorescencia (según la técnica empleada) las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.
 7. Limpieza final: Aunque los agentes químicos utilizados no deberían ser corrosivos de los materiales ensayados, se eliminarán sus restos para prevenir posteriores ataques.



**FIGURA 4.1. MUESTRA DE APLICACIÓN DE LÍQUIDO
PENETRANTE**

Radiografías

END de tipo físico que ayuda a detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

Son radiaciones electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz ($300.000 \text{ km s}^{-1}$), aunque tienen menor longitud de onda, mayor energía y más penetración. Estos rayos no sufren desviación alguna por efecto de campos magnéticos o eléctricos, se propagan por tanto en línea recta, excitan la fosforescencia e impresionan placas fotográficas. Atraviesan los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, siendo absorbidos en mayor o menor grado según el espesor y la densidad del material, y la longitud de onda de la radiación. Alcanzan así a impresionar una película o placa fotográfica, situada en el lado opuesto del material.

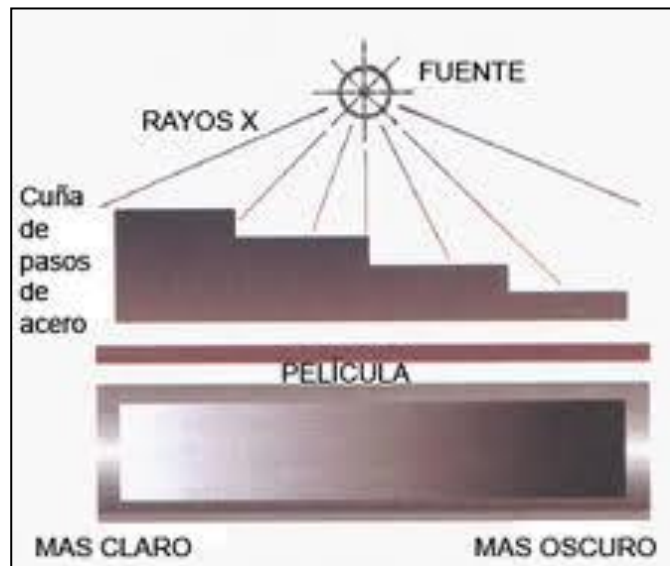


FIGURA 4.2 ESQUEMA DE PROCESO DE RADIOGRAFÍA

Los defectos de los materiales como grietas, bolsas, inclusiones, etc. de distintas densidades, absorben las radiaciones en distinta proporción que el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en la placa fotográfica colocada detrás de la pieza. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía. Para facilitar la labor se usan colecciones de radiografías patrón, en las cuales los defectos están claramente identificados para unas condiciones dadas de tipo de material y tipo de soldadura.

Las limitaciones que se deben considerar en este proceso son las que se indican a continuación:

- No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.
- No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.
- La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados.
- Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.
- Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.
- Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.
- Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.

4.3 Criterios de Aceptación y Rechazo

Los cordones de soldadura efectuados deben responder a niveles de aceptación establecidos en el código de soldadura aplicable

para la fabricación de tubos y accesorios de acero AWWA C200 mismo que direcciona al código ASME IX.

En general la junta a soldar debe cumplir con los formatos establecidos en los WPS correspondientes y estos no podrán tener problemas de desalineación ni de las dimensiones especificadas como se muestra en la figura 4.3.

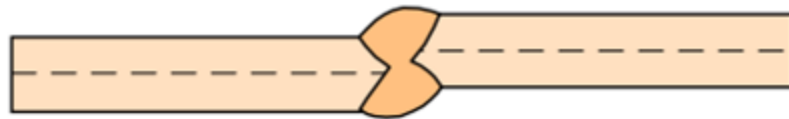


FIGURA 4.3 .- DESALINEACIÓN DE UNA JUNTA A TOPE.

La geometría de la soldadura debe ser verificada conforme lo establecido en el respectivo WPS, certificando que cumplen con las medidas, formatos y tolerancias ahí establecidos.

Para la inspección y evaluación de las soldaduras realizadas durante el proceso de fabricación de tubos y accesorios de acero se centrará en las discontinuidades de tipo superficial que se pueden hallar por medio de los END de VT y LP. Para esto se debe considerar el procedimiento de soldadura que se aplicó e identificar los defectos que pudieran producirse.

Fisuras.- Se consideran, en general, las discontinuidades más graves ya que representan fuertes concentradores de tensiones. Resultan en general de la acción de esfuerzos de tracción (tensiones transitorias, residuales o externas) en un material que no es capaz de resistirlos. Pueden estar asociadas en general a un problema de fragilidad. Pueden aparecer durante o inmediatamente después de la soldadura, en algunos materiales aparecen horas después de terminada la soldadura o en procesos de fabricación posteriores a la misma, o durante la condición de trabajo de la junta soldada.

Las fisuras pueden clasificarse en:

- a) Por su periodo de solidificación: en Fisuras en caliente o Fisuras en frío.
- b) Por su forma: en Longitudinales, transversales, cráteres, de garganta, de borde y de raíz.

Algunos ejemplos de esta discontinuidad se podrá verlas en las figuras 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7.



FIGURA 4.4.- FISURA LONGITUDINAL



FIGURA 4.5.- FISURA TRANSVERSAL



FIGURA 4.6.- FISURA DE PIE



FIGURA 4.7.- FISURA DE GARGANTA Y DE RAÍZ

Porosidad.- Discontinuidad del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. Se divide a su vez en cuatro tipos:

a) Porosidad distribuida uniformemente.



FIGURA 4.8- POROS DISTRIBUIDOS UNIFORMEMENTE

b) Porosidad agrupada (“Cluster porosity”)



FIGURA 4.9.- POROS AGRUPADOS

c) Porosidad alineada (“Linear porosity”)



FIGURA 4.10.- POROS ALINEADOS UNIDOS POR UNA FISURA

d) Porosidad vermicular o tipo gusanos (“Piping porosity”)



FIGURA 4.11.- POROS SUPERFICIALES ALARGADOS (VERMICULAR)

Socavadura o Mordedura.- La socavadura es una muesca, o canaleta, o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura como se muestra en la figura 4.12; es un concentrador de tensiones y

además disminuye el espesor de las planchas o caños, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura.

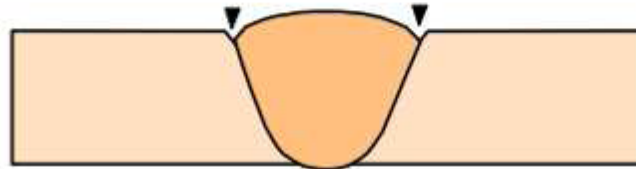


FIGURA 4.12- SOCAVADURA O MORDEDURA

Las mordeduras son causadas por un manejo inadecuado de los electrodos, la retención excesiva del arco sobre una cara de la junta, y por la corriente o alta velocidad de soldadura. En las figuras 4.13 y 4.14 se podrán observar ejemplos de socavaduras en soldaduras de bisel.



**FIGURA 4.13.- SOCAVADURA ADYACENTE A SOLDADURA
DE BISEL**



FIGURA 4.14.- SOCAVACIÓN EN CORDÓN DE SOLDADURA DE BISEL

Solapado.- Es descrita como la protrusión del metal de soldadura por delante del talón o la raíz de la soldadura. Aparece cuando el metal soldado inunda la junta y yace en el metal base adyacente. Un ejemplo se muestra en la figura 4.15.



**FIGURA 4.15.- SOLAPADO EN SOLDADURA DE FILETE Y
CON BISEL**

Concavidad.- Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base. Ejemplos de los tipos de concavidades se muestran en las figuras 4.16 y 4.17.



**FIGURA 4.16.- CONCAVIDAD
EXTERNA**



**FIGURA 4.17.- CONCAVIDAD
INTERNA**

Salpicadura.- Partículas de metal expelidas durante la fusión de la soldadura de manera de no formar parte de la soldadura.

Esto se muestra en la figura 4.18.



FIGURA 4.18.- SALPICADURA EN VECINDAD DE CORDÓN DE SOLDADURA

En casos de fabricación en serie de tubos o accesorios de acero, o cuando el contratante o fiscalización lo considere necesario y dependiendo de la importancia de la obra, se realizarán radiografías donde se podrán identificar aparte de algunas de las discontinuidades ya mencionadas, la falta de fusión, falta de penetración, fisuras internas e inclusiones.

Los resultados y observaciones de la inspección de soldadura debe ser reportada en un registro donde se indique el proyecto, especificaciones del elemento inspeccionado, método de END aplicado con su descripción general y un anexo fotográfico de la

inspección del elemento. Este documento debe estar revisado y firmado por el ingeniero o personal encargado del ensayo no destructivo el cual debe tener mínimo una certificación de nivel II según el método de END aplicado. Un ejemplo de este registro se muestra en el anexo 7.

4.4 Control de Reparaciones

Si durante la ejecución de los END aplicados, VT y LP, en la superficie de la soldadura se detectase algún defecto, éste será corregido conforme al criterio que figura en la tabla que sigue:

TABLA 9
CONTROL DE REPARACIONES DE DEFECTOS DE
SOLDADURA

Descripción del defecto	Corrección
Fisuras	Saneado de las fisuras y nuevo cordón
Poros y desbordamientos	Soldar de nuevo después de sanear sea por amolado o con arco-aire. Longitud mínima de saneado 40 mm
Mordeduras	Saneado y posterior depósito de material de aportación, longitud mínima de saneado 40 mm
Concavidades y convexidades no previstas	Amolado
Otros defectos: entallas y estrías superficiales con posterior depósito de material; hendiduras de límite de aportación, etc.	Amolado o saneado por arco-aire

Una vez realizada la corrección del cordón con defecto se procederá a realizar una nueva inspección siguiendo el mismo procedimiento como la primera inspección.

El cordón solo será liberado cuando el personal técnico encargado de la inspección por END indique que no hay defectos en el cordón de soldadura ejecutado.

Una vez liberado debe quedar registrado en el documento de END y debidamente firmado por el personal calificado.

4.5 Preparación de Superficie previa Aplicación del Recubrimiento

Para el correcto tratamiento de la superficie previo a la aplicación del recubrimiento es fundamental conocer y seguir las especificaciones indicadas por el fabricante de la pintura que será aplicada respecto al tipo de preparación superficial.

Según las especificaciones de pintura indicadas en este documento en el capítulo 2.4.2, para realizar el tratamiento superficial se debe seguir lo recomendado para cada marca de pintura específica indicadas en las datas técnicas que se muestran en los anexos del 1 al 4, todo esto sin dejar de cumplir los requisitos y especificaciones indicadas en el capítulo 2.4.1 sobre tratamiento superficial.

Los resultados y especificaciones del tratamiento superficial aplicado debe estar registrado en el formato de Preparación Superficial de elementos de acero en el que el criterio de aceptación será la rugosidad o perfil de anclaje obtenidos luego del proceso realizado. Este será medido por un rugosímetro digital cuyo valor obtenido debe estar en un rango de 50 a 100 micras según el tipo de abrasivo especificado y cumpliendo con las especificaciones de tratamiento superficial de la pintura a aplicar.

En general, según los tipos de recubrimientos que se pueden considerar según este documento, el tratamiento superficial debe ser de grado metal casi blanco o SSPC-SP 10.

Este registro debe ser firmado por el ingeniero responsable del departamento de calidad de la empresa contratante. Un ejemplo de este registro se muestra en el anexo 8.

4.6 Aplicación del Recubrimiento

Una vez aceptado o liberado el proceso de tratamiento superficial se procede a la aplicación de pinturas siguiendo lo indicado en el capítulo 2.4.2.

Para el recubrimiento exterior se considerarán las siguientes pinturas:

- Cortec VPCI 396, ver ANEXO 1

- Hempel COALTAR EPOXY MASTIC 35670, ver ANEXO 2
- Belzona 5811, ver ANEXO 3

Para el recubrimiento interior se pueden considerar:

- Hempel HEMPADUR MULTI-STRENGTH 35530, ver ANEXO 3
- Belzona 5811 DW, ver ANEXO 3

Para cualquiera de los casos se debe respetar la especificación de 400 micras de espesor.

Dependiendo del tipo de pintura seleccionada y lo indicado en su hoja técnica, se aplicarán las manos de pintura necesarias considerando el grado de depósito en micras o mills por mano de pintura y los tiempos de curado que se deben respetar entre manos de aplicación.

La correcta selección del tipo de pintura dependerá de la condición particular del proyecto, respecto al tiempo de ejecución que se tiene previo a su instalación. De estas, se seleccionará considerando el tiempo de curado total de la pintura a aplicarse.

4.7 Control de Espesores de Recubrimiento

Las mediciones de espesor de este proceso serán controladas mediante equipos digitales para medición de espesores de lámina seca de recubrimiento, este equipo debe estar calibrado y verificado cada vez que se vaya a tomar una medición de control de espesor.

Los resultados de estas mediciones deben estar registrados en el formato FO-CCCO-1103 y debidamente firmado por el responsable del departamento de calidad de la empresa contratante. Un ejemplo de este registro se muestra en el ANEXO 9.

4.8 Criterios de aceptación final del elemento

Una vez terminados todos los procesos para la fabricación del tubo o accesorio de acero, el fiscalizador de la obra debe contar con todos los registros con resultados satisfactorios de cada uno de los procesos debidamente firmados por el responsable de los controles de calidad de cada proceso.

Los registros que se deben presentar son los siguientes:

1. FO-CCCO-1102 controles de soldadura
2. FO-CCCO-1104 controles de tratamiento superficial

3. FO-CCCO-1103 control de espesor de recubrimiento

Los controles de soldadura también pueden ser realizados por subcontratistas calificados como se indico en el capítulo 4.3 de este documento, en este caso no se presentará el formato FO-CCCO-1102, en su lugar se presentará el informe de la compañía que provee el servicio de END cumpliendo con lo indicado en el capítulo 4.3.

La aceptación final del elemento fabricado solo se dará teniendo los registros de los controles de todos los procesos, indicando el cumplimiento a satisfacción de todas las especificaciones descritas en este documento.

En caso que el responsable del proyecto lo estime necesario, se pueden realizar controles en el espesor de la lámina de acero para verificar que cumpla con lo establecido en el capítulo 2.2 de este documento. El reporte de este control se lo llevará en el formato FO-CCCO-1101, mismo que se muestra en el anexo 10.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego del análisis y estudio realizado en este documento, se identifica la importancia de los controles necesarios durante la fabricación de los elementos de acero; desde el momento de la selección del material base, asegurándonos que este material cumplan con las características y los requerimientos necesarios para esta aplicación “**transporte de agua a presión**”. Por lo que es necesario seguir las especificaciones y recomendaciones para el control dadas en las normativas correspondientes como son:

- Cálculo del espesor adecuado, considerando todas las variables que pueden afectar en la aplicación del elemento y optimizando también así la inversión generada.
- Rolado en el proceso de fabricación.
- Soldadura, realizada con equipos, personal y procesos calificados.

- Un correcto tratamiento superficial para garantizar la adecuada adherencia de la pintura seleccionada.
- Selección de la pintura adecuada, garantizando un promedio de vida útil adecuado, controlando su espesor y correcta aplicación.

Con estos procedimientos se establecen controles de calidad necesarios para la fabricación de tubos y accesorios de acero considerados en el proyecto de rehabilitación de los grandes acueductos de la ciudad de Guayaquil para el transporte de agua potable.

Estas especificaciones y procedimientos quedan establecidos para el control de calidad de cualquier tubería y accesorio de acero, sean estos para proyecto de expansión o reparaciones puntuales en los acueductos. Esto será la guía para el control de la supervisión y fiscalización en los trabajos relacionados con la fabricación de tubos y accesorios de acero.

APÉNDICES

- Anexo 1- Ficha Técnica Cortec VPCI 396
- Anexo 2 – Ficha Técnica Hempel COALTAR EPOXY MASTIC 35670
- Anexo 3 - Belzona 5811,
Hempel HEMPADUR MULTI-STRENGTH 35530
- Anexo 4 – WPS
- Anexo 5 – PQR
- Anexo 6 – WPQ
- Anexo 7 – Reporte END
- Anexo 8 – FO-CCCO-1104
- Anexo 9 – FO-CCCO-1103
- Anexo 10 – FO-CCCO-1101

BIBLIOGRAFÍA

- AWWA, Manual M-11 Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation
- AWWA C-200 Steel water pipe 6in (150 mm) and larger.
- AWWA C-206 Field Welding of Steel Water Pipe
- AWWA C-203, Standard for Coal-Tar Protective Coatings and Linings for Steel Water Pipelines - Enamel and Tape - Hot-Applied.
- AWWA C-210 Standard for Liquid - Epoxy Coating System for the interior and Exterior of Steel Water Pipelines.
- AWWA C-213, Fusion bonded epoxy coating for the interior and exterior of steel water pipelines.
- ASTM A-36 Standard Specification for Carbon Structural Steel.
- ASTM A-53 Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless
- ASTM A-572 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel
- SEC IX de ANSI/ASME Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators.
- EN 1092 Flanges and their joints – Circular flanges for pipe, valves, fitting and accessories, PN designated
- NACE N°2 / SSPC 10 Near-White Blast Cleaning.
- SSPC-AB1 Mineral and Slag Abrasives

- <http://www.chil.org/agua/group/jornadas-tecnicas-sobre-conducciones-a-presion/document/instruccion-del-instituto-eduardo-torroja-para-tubos-de-hormigon-armado-o-pretensado?ss=sschb3g4432w1>
- <http://industriales.utu.edu.uy/archivos/soldadura/10%20Discontinuidades.pdf>
- http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=186&Itemid=70
- <http://publishing.yudu.com/Library/Ar47e/discontinuidadesdeso/resources/25.htm>
- <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2880384E-FECD-4A8E-99AB-B86704BD5287/103524/22.pdf>
- http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000300004&script=sci_arttext
- http://industriales.utu.edu.uy/archivos/soldadura/12%20Calificacion_Proc_Sold.pdf
- <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art04.pdf>