

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Evaluación Técnica para la Aceptación de Segmentos de Tubería  
de 800 mm de diámetro construida para el Proyecto de Provisión de  
Agua Potable en Machala”

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Manuel Antonio Medina Santos

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2007

## **AGRADECIMIENTO**

A Cecilia mi esposa quien con su entusiasmo y dedicación me dio impulso para culminar este trabajo, al Ing. Ing. Wiesner y al Personal de Intramet por su invalorable y desinteresada ayuda, eternamente gracias.

## **DEDICATORIA**

A mi padre, como homenaje póstumo

A mi madre por darme la vida

A mis hermanos por toda la ayuda que en su momento  
me brindaron

A mi esposa por su infinito amor y comprensión

A mis hijos por la felicidad que para mi representan

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Julian Peña E.  
Delegado por el Decano de la FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ignacio Wiesner F.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Jorge Duque R.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Manuel Antonio Medina Santos

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se describe la realización de una obra de Ingeniería que prestará servicio de conducción de agua para uso humano y los problemas originados durante la etapa de construcción. La obra es importante desde el punto de vista social ya que esto representa mayor bienestar para el grupo de personas a quienes beneficia. Paso a paso se irá describiendo los parámetros importantes para la realización de la misma así como las soluciones que se implantaron para evitar los inconvenientes técnicos que se presentaron.

En primer lugar se enfocará la descripción del proyecto que generó este informe, los antecedentes históricos de este tipo de construcción, los datos técnicos inherentes al proceso de fabricación, la comprobación de datos de diseño, las normas que se aplicaran, el cronograma de actividades y los costos involucrados.

A continuación se enfocará lo concerniente a la construcción de la obra en todas las fases del proceso de fabricación, es decir los pasos básicos para

elaborar el producto y la certificación del material y los procesos relacionados con la protección de los tubos contra la corrosión tanto interior como exterior. Posteriormente se mostrará información concerniente a la evaluación técnica, los resultados de las distintas pruebas físicas y metalúrgicas a las uniones soldadas acordadas para la aceptación de la obra y por último se encontrará el factor de seguridad que se encuentra aun a pesar de la falla de soldadura encontrada por radiografía industrial. Se considera una confiabilidad elevada con relación a lo que exigen las normas AWWA.

# ÍNDICE GENERAL

|                        | <b>Pág.</b> |
|------------------------|-------------|
| RESUMEN.....           | II          |
| ÍNDICE GENERAL.....    | III         |
| ABREVIATURAS.....      | IV          |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | V           |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | VI          |
| INTRODUCCIÓN.....      | 1           |

## **CAPÍTULO 1**

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. ASPECTOS INHERENTES AL DISEÑO.....</b> | <b>3</b> |
| 1.1. Descripción del proyecto.....           | 3        |
| 1.2. Diseño de segmentos.....                | 7        |
| 1.3. Proceso de construcción aplicable.....  | 20       |
| 1.4. Normas de fabricación.....              | 26       |
| 1.5. Costos Proyectados.....                 | 31       |

## **CAPÍTULO 2**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2. CONSTRUCCIÓN DE SEGMENTOS.....</b>  | <b>33</b> |
| 2.1. Cronograma de fabricación.....       | 33        |
| 2.2. Certificación del material base..... | 35        |

|  |    |
|--|----|
| 2.3. Preparación de placas de segmentos para rolar y soldar.....     | 39 |
| 2.4. Procedimiento de rolado y soldadura.....                        | 42 |
| 2.5. Procesos de acabado: arenado y aplicación de recubrimiento..... | 51 |

### **CAPÍTULO 3**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. EVALUACIÓN.....</b>   | <b>60</b> |
| 3.1. Inspección radiográfica de los segmentos.....  | 60        |
| 3.2. Plan de trabajo para la aceptación de la obra.....                                   | 62        |
| 3.3. Prueba hidrostática y evaluación mecánico – metalúrgico<br>de la unión soldada ..... | 62        |
| 3.4. Factor de seguridad de los segmentos.....  | 84        |

### **CAPÍTULO 4**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>90</b> |
|---|-----------|

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

|                |   |
|----------------|---|
| A.C            | Antes de Cristo.                            |
| Km.            | Kilómetro                                   |
| m <sup>3</sup> | metro cúbico                                |
| AWWA           | American Water Works Association            |
| ASTM           | American Society for Testing and Materials  |
| ISO            | Organización Internacional de Normalización |
| ASA            | American Standards Association              |
| ASME           | American Society of Mechanical Engineers.   |
| MIG            | Metal Inert Gas                             |
| AWS            | American Welding Society                    |
| GMAW           | Gas Metal Arc Welding                       |
| ANSI           | American National Standards Institute       |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 1.1  | Reseña del Montaje de los segmentos en sector aledaño a la planta de procesamiento de agua en Machala..... | 4  |
| Figura 1.2  | Parte del acueducto de 56 millas construido entre las ciudades de eiffel y cologne.....                    | 8  |
| Figura 1.3  | Parte de acueducto de madera usado en los estados unidos hasta 1900.....                                   | 10 |
| Figura 1.4  | Corrosión de tuberías al atravesar terrenos heterogéneos.....  | 16 |
| Figura 1.5  | Esquema básico de protección catódica.....   | 17 |
| Figura 1.6  | Composición grafica de los principales pasos para la construcción del segmento del tubo.....               | 22 |
| Figura 1.7  | Vista del segmento de tubo terminado donde se observan la cantidad de tramos que lo componen.....          | 24 |
| Figura 2.1  | Cronograma de trabajo.....   | 34 |
| Figura 2.2  | Probetas para la homologación del material luego del ensayo de tracción.....                               | 35 |
| Figura 2.3  | Muestra de la probeta luego de las quemas efectuadas para análisis químico.....                            | 35 |
| Figura 2.4  | Esquema de corte de lámina.....  | 40 |
| Figura 2.5  | Esquema de vista en corte de la preparación de la lámina para barolar.....                                 | 40 |
| Figura 2.6  | Calibrador multipropósito de medición de biseles y otros parámetros.....                                   | 41 |
| Figura 2.7  | Esquema del proceso de rolado.....   | 44 |
| Figura 2.8  | Pre-rolado de lámina.....  | 44 |
| Figura 2.9  | Proceso de rolado artesanal.....   | 45 |
| Figura 2.10 | Chapa de acero cilindrada y soldada con puntos.....  | 45 |
| Figura 2.11 | Proceso de soldadura con proceso MIG para ensamblaje de tramos nodulares .....                             | 49 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 2.12 | Detalle de soporte que permiten el movimiento giratorio y realizar el trabajo en una posición.....  | 49 |
| Figura 2.13 | Obreros realizando el proceso de soldadura circunferencial para la unión de tramo pequeños y hacer segmentos largos.....                                      | 50 |
| Figura 2.14 | Sistema de arenado por chorro de arena a presión de aire (sandblasting).Lado externo.....   | 55 |
| Figura 2.15 | Sistema de arenado por chorro de arena a presión de aire (sandblasting).Lado interno.....   | 55 |
| Figura 2.16 | Obrero aplicando pintura por el método de presión (airless).....  | 58 |
| Figura 3.1  | Identificación de la muestra tomada para realizar pruebas tubo no. 27.....  | 64 |
| Figura 3.2  | En la presente foto se aprecia la presencia durante la prueba al fiscalizador de la obra ing. Carlos Alvarado, al ing. I. Wiesner y al autor del informe..... | 64 |
| Figura 3.3  | Identificación de la muestra para ensayos del tubo.....   | 65 |
| Figura 3.4  | Muestra del tubo no. 110 ensayado hidrostáticamente a 300 psi.....  | 66 |
| Figura 3.5  | muestra del tubo 142 ensayado hidrostáticamente a 315 psi.....  | 67 |
| Figura 3.6  | En esta foto el autor de este informe junto a la maquina para ensayo de doblado.....  | 68 |
| Figura 3.7  | Probetas de doblado tubo no. 27 luego del ensayo.....   | 69 |
| Figura 3.8  | Probetas de doblado tubo no. 50 luego del ensayo.....   | 69 |
| Figura 3.9  | Probetas de doblado tubo no. 110 luego del ensayo.....  | 70 |
| Figura 3.10 | Probetas de doblado tubo no. 142 después del ensayo.....  | 70 |
| Figura 3.11 | El autor junto a la maquina wolpert dela empresa andec donde se realizaron las pruebas de tensión.....  | 71 |
| Figura 3.12 | Probetas luego del ensayo de tracción tubo no. 27.....  | 72 |
| Figura 3.13 | Probetas luego del ensayo de tracción tubo no. 50.....  | 73 |
| Figura 3.14 | Probetas luego del ensayo de tracción tubo no. 110.....   | 74 |
| Figura 3.15 | Probetas luego del ensayo de tracción tubo no. 142.....   | 75 |
| Figura 3.16 | Probeta obtenida de la unión soldada para macrografía, metalografía, dureza.....  | 76 |
| Figura 3.17 | Esquema de la unión soldada sin falla.....  | 86 |
| Figura 3.18 | Esquema de sector radiografiado con falta de penetración.....   | 87 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 1  | Datos básicos para la construcción de segmentos.....  | 6  |
| Tabla 2  | Especificaciones de láminas de acero a usar en<br>fabricación de tubos norma awwa c200.....   | 19 |
| Tabla 3  | Característica más importante de la norma aplicable para la<br>obra.....                      | 30 |
| Tabla 4  | Datos generales.....  | 31 |
| Tabla 5  | Datos particulares.....   | 32 |
| Tabla 6  | Resultados de ensayos de tracción homologación de material.....                               | 37 |
| Tabla 7  | Resultados de análisis químico.....   | 38 |
| Tabla 8  | Parámetros básicos del proceso gmaw (mig).....  | 51 |
| Tabla 9  | Resultados obtenidos en la prueba de tracción tubo no 27.....                                 | 72 |
| Tabla 10 | Resultados obtenidos en la prueba de tracción tubo no 50.....                                 | 73 |
| Tabla 11 | Resultados obtenidos en la prueba de tracción tubo 110.....                                   | 74 |
| Tabla 12 | Resultados obtenidos en la prueba de tracción tubo no. 142.....                               | 75 |
| Tabla 13 | Resultados de la dureza .....   | 77 |
| Tabla 14 | Datos de diseño usados para cálculos teóricos del<br>factor de seguridad.....                 | 85 |
| Tabla 15 | Comparación de esfuerzos en las uniones soldadas .....  | 88 |
| Tabla 16 | Comparación de factores de seguridad teórico y real en las<br>Uniones soldadas con falla..... | 89 |

# APÉNDICES

|            |  |
|------------|--|
| APÉNDICE A | Tabla comparativa de propiedades de diversos materiales usados en tuberías |
| APÉNDICE B | Informe Técnico final del Ing. Wiesner para Ing. Gustavo Moreno            |
| APENDICE C | Grados de Preparación de superficies metálicas                             |
| APENDICE D | Informe Técnico Ing. Wiesner para Kruger                                   |
| APENDICE E | Recopilación de Normas y estándares usados en el presente Informe          |

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. AWWA ESTÁNDAR FOR STEEL WATER, pipe 6 in (150 mm) and larger, 1992
- 2.- ROBERT L NORTON, Diseño de maquinas, Printece- Hall
- 3.- BEDFORD Y LIECHT11, Mechanics of materials, Prentice- Hall,
- 4.- HOWARD F. RASE, WILEY. Piping desing for process plants.
- 5.- EUGENE F. MEGYESY, Manual de recipientes a presión, diseño y calculo
- 6.- KOELLHOFFER, Manual de soldadura, Limusa
- 7.- GALVERY / MARLOW , Guía de soldadura para el técnico profesional, Limusa.
- 8.- LAWRENCE H. VAN VLACK, WESLEY, Elements of materials science.

9.- Normas: ASTM A 134 – 96

ASTM E 190 – 9

ASTM E 18 – 02

ASTM E3 – 01

ASTM A36

10.- Normas ASME IX

11.- Normas: NACE 2,

NACE ESTÁNDAR RPO169-96

12.- Normas AWS D1.1 2000

## INTRODUCCION

El objetivo principal de la presente tesis de grado es presentar nuevas obras en la que están emprendiendo los ingenieros politécnicos y demostrar que existe tecnología para la fabricación de tuberías de conducción de agua potable acorde con normas internacionales como la AWWA, y que están sirviendo para suplir una imperiosa necesidad social.

La compañía con la que trabajo de forma asociada , y de la cual por ética me voy a permitir reservar el nombre, fue contratada por una empresa extranjera para efectuar la construcción de un tramo de acueducto cuyo usuario final era una empresa de agua potable de nuestro País , en los términos del contrato las pruebas para control de calidad de las juntas soldadas eran tintas penetrantes de manera aleatoria, esto es correcto cuando se dan las siguientes condiciones: el espesor de pared del tubo que en este caso están sobredimensionados, el sistema tiene presiones moderadas de trabajo, el fluido a transportar no es peligroso, la ubicación de las líneas no representa riesgo a terceros o a instalaciones cercanas. Sin embargo de esto, sin tenerlo previsto, solicitaron pruebas radiográficas de las uniones. Realizar esta prueba conlleva de manera inequívoca a generar un incremento en el costo de la mano de obra y por ende en el costo final ya que esto obliga a realizar un exceso de control en una obra que no lo amerita. Una de las maneras de

realizar también un buena inspección, pero que no incrementan grandemente el costo, aunque son ensayos destructivos es realizar pruebas de tracción, doblado, hidrostática, metalograficas, etc, esto además de cambiar el proceso de soldadura es lo que el autor del presente informe sugirió para obviar las prueba radiográficas y dar mayor confiabilidad a la obra.

La información que se presenta aquí trata de demostrar que con un buen control de los parámetros que intervienen en los procesos de soldadura, y acorde con nuestra realidad, se puede acometer obras con suficiente confianza en que van a operar correctamente.

En el presente trabajo también se demuestra que dependiendo de la condiciones de operación y de la norma aplicada, esta obra aún con fallas de soldadura detectadas por radiografía industrial puede operar óptimamente, ya que existe un factor de seguridad que sobrepasa lo que exigen las normas internacionales.

# CAPITULO 1

## 1. ASPECTOS INHERENTES AL DISEÑO

### 1.1 Descripción del Proyecto

El Municipio de la Ciudad de Machala a fin de aumentar la producción de agua potable para satisfacer la creciente demanda de la ciudad, consiguió un préstamo del Gobierno de Dinamarca con el aval del gobierno nacional.

Una de las cláusulas del antes mencionado préstamo era que el Municipio debía contratar la ejecución completa de la obra con una compañía Danesa la que se encargó de los estudios, diseño y construcción de los pozos de captación, planta potabilizadora y líneas de conducción de agua potable a fin de empatare con la línea actual de distribución.



**FIGURA 1.1 RESEÑA DEL MONTAJE DE LOS SEGMENTO EN SECTOR ALEDAÑO A LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE AGUA EN MACHALA**

La compañía Danesa a fin de acelerar y abaratar costos, decidió según los estudios y diseño contratar la construcción y montaje de la tubería metálica que saliendo de la nueva planta potabilizadora ubicada en el sitio el Cambio, empate con la actual línea de conducción, con una compañía nacional de la cual actúo como Director en lo concerniente con los procesos de soldadura y aplicación de recubrimientos protectores.

El objeto del contrato comprendió lo siguiente: la construcción de tramos de tubos partiendo de una chapa metálica recta, la cual deberá ser barolada al diámetro de diseño, unida después mediante soldadura eléctrica por fusión, luego de sus comprobaciones dimensionales y las correspondientes pruebas físicas y metalúrgicas de la unión soldada los tramos deberán ser sometidos a un proceso de limpieza por abrasivos a fin de darles el acabado adecuado y compatible con los recubrimientos anticorrosivos que se aplican.

La construcción y protección anticorrosiva de los segmentos se efectuaron siguiendo las normas y estándares internacionalmente aceptados que regulan la fabricación de estos a fin de obtener obras con la calidad y la seguridad que se amerita. Los datos del proyecto de construcción de los segmentos se enuncian en la tabla 1.

**TABLA 1**  
**DATOS BASICOS PARA LA CONSTRUCCION DE SEGMENTOS**

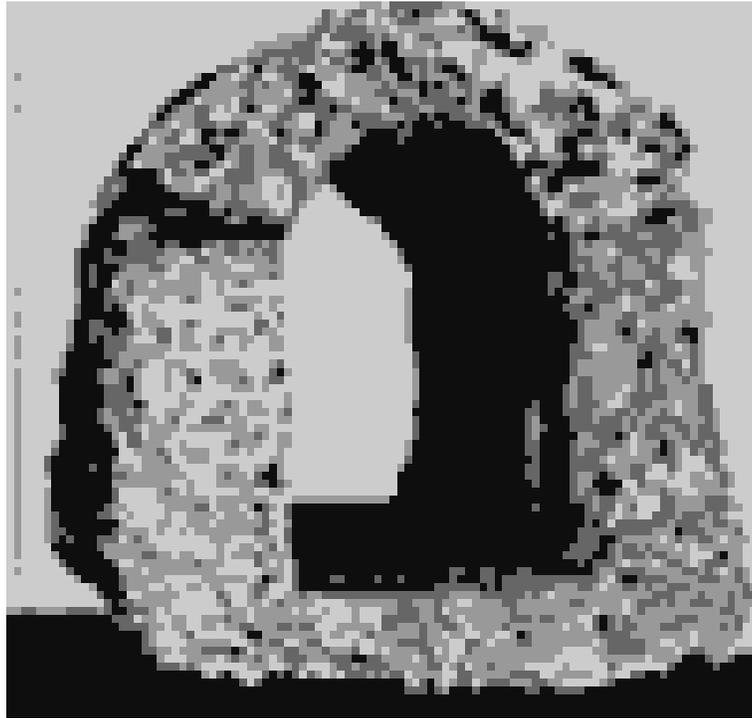
|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Material                          | <b>Acero ASTM A 36</b>  |
| Fluido                            | <b>Agua potable</b>   |
| Diámetro exterior                 | <b>816.00 mm</b>  |
| Espesor de la placa               | <b>8.00 mm</b>  |
| Presión de diseño                 | <b>7.00 kgf/cm<sup>2</sup> (100 Lbf/pulg<sup>2</sup>)</b>                       |
| Temperatura de fluido             | <b>26 °C</b>  |
| Protección anticorrosiva:         | <b>Interno: Epoxica grado alimenticio</b><br><b>Externo: Bituminosa Epoxica</b> |
| Protección catódica               | <b>No</b>   |
| Apoyos en tubería                 | <b>No</b>   |
| Condición de instalación          | <b>Tubo enterrado en zanja</b>  |
| Ancho de zanja                    | <b>1.4 m.</b>   |
| Profundidad de zanja              | <b>1.90 m</b>   |
| Prueba de uniones soldadas        | <b>Lo acordado entre las partes (tintas penetrantes )</b>                       |
| Homogenización alrededor del tubo | <b>10 cm. Arena bajo tubo, 30cm. Arriba tubo</b>                                |
| Tipo de suelo                     | <b>Arcilloso</b>  |
| Camisas en cruces de vias         | <b>Capa de hormigón</b>   |
| Longitud total del tubo           | <b>1120 M (Se construirá en talleres en tramos de 6m de longitud)</b>           |

## 1.2 Diseño de segmentos

Típicamente, el diseño de tuberías de conducción de agua se basa en las condiciones de servicio a la cuál va a estar sometido durante la vida útil proyectada del sistema, los materiales que se usan han tenido a lo largo de la historia un cambio permanente hasta llegar al estado actual. Se resume brevemente esta evolución:

Los sistemas para la transportación de agua llamados acueductos están presentes desde el principio mismo de la civilización, hay vestigios de tuberías de conducción de agua hechas con arcillas que aún se observan en las ruinas de babilonia que datan de 4000 años a.C., más recientemente hacia el año 700 a.C. Senaquerib, rey de Asiria mando a construir un acueducto que abasteciera de agua a su capital Nínive.

Por esta misma época, Ezequías, Rey de Judá entre 715 y 686 a.C., aproximadamente, edifico a su vez un acueducto que lleva el agua a Jerusalén, pero sin duda alguna quienes alcanzaron en la antigüedad la excelencia fueron los romanos ya que estos no solo utilizaban los acueductos para transportar agua para uso humano sino también para mover ruedas hidráulicas que daban impulsión a ciertas maquinarias.



**FIGURA 1.2 PARTE DEL ACUEDUCTO DE 56 MILLAS  
CONSTRUIDO ENTRE LAS CIUDADES DE EIFFEL Y COLOGNE**

Uno de los primeros acueductos que construyeron los romanos era el Aqua Apia, era un acueducto subterráneo de 16 Km. De longitud. Fue erigido durante el mandato de Apio Claudio (llamado el Ciego) hacia el año 310 a.C. El primer acueducto romano que transportaba agua sobre la superficie del suelo fue el Aqua Marcia, en Roma; tenía una longitud de 90 Km y fue construido por el pretor Marcio en el año 144 a.C. Diez acueductos suministraban agua a la ciudad de Roma, que

consumía 140.000 m<sup>3</sup> de agua al día. En la actualidad se encuentran parte de ellos que todavía están en funcionamiento, y proporcionan agua a las fuentes de Roma. Los antiguos romanos también construyeron acueductos en otros lugares de su imperio, muchos de los cuales se mantienen todavía en buen estado: el acueducto sobre el canal de Francia; el de Segovia en España y de Éfeso en Turquía.

Los materiales que se usaron en los primeros acueductos (de las que existen evidencia) es la arcilla en Babilonia, de cemento de la cual los Romanos fueron sus inventores, de ahí sus grandes edificaciones, también existen la evidencia del uso de madera, piedras agujereadas, sistemas de tuberías de madera han sido utilizadas hasta principios de 1900 en los Estados Unidos.

El uso de tuberías de hierro fundido para conducciones de agua siguió, como lógica consecuencia, a la invención de los cañones de hierro fundidos. Tales cañones fueron usados en Gante en 1313, y existe evidencia de que estas tuberías fueron fundidas en Alemania en 1455. En 1562 se hicieron los tendidos de tubería de hierro fundido para suministro de agua para las fuentes de Ratanes. Luis XIV, en su intento de imitar las fuentes de las villas italianas, instaló tubería de hierro fundido para sus fuentes de Versalles.



**FIGURA. 1.3 PARTE DE ACUEDUCTO DE MADERA USADO EN LOS ESTADOS UNIDOS HASTA 1900**

Este sistema continúa en uso aun en la actualidad, el uso extendido de las tuberías de hierro fundido comenzó en la primera década del siglo XIX. Especialmente a causa de su resistencia en condiciones subterráneas, estas tuberías continúan siendo especificadas aún en la actualidad.

Históricamente existen dos sucesos: el desarrollo de los procesos de mejoramiento de los productos de hierro y acero, y el amplio uso de la máquina de vapor, que comenzó a finales del siglo XVII y que creó la necesidad de usar materiales capaces de soportar mayores presiones y temperaturas que las que se habían utilizado anteriormente, dieron un gran impulso a la fabricación y extensión del

uso de tuberías de acero. A pesar de la aceptación de la tubería de acero durante los siglos XVIII y principios del XIX y habiendo sido construidas en grandes cantidades a comienzos del siglo XX, las válvulas y accesorios continuaron siendo de hierro fundido.

La relativamente reciente aparición de la soldadura que ha permitido realizar ductos de acero laminado y el desarrollo de los métodos actuales de soldadura por fusión que permiten soldar casi cualquier tipo de material y si se adiciona su portabilidad, es lo que ha permitido el montaje, construcción y abaratamiento de los modernos sistemas de ductos (poliductos, oleoductos, gasoductos, etc.), actualmente el amplio uso de tuberías realizadas con acero para casi todos los procesos ha traído consigo la estandarización de las dimensiones y materiales que se usan, lo que también ha obligado al uso extendido de normas y manuales publicadas por diversas organizaciones técnicas donde se detallan reglas y formas constructivas que deben de seguirse, lo que ha hecho más confiable el uso de tubería de acero.

En nuestro País el uso de tubería de asbesto cemento y alguna variante con alma de acero construida por la empresa Amerón, no han dado resultado debido a los cambios en las condiciones del

suelo y su rápido deterioro a consecuencia de la corrosión. Varias son las razones para la expansión del uso de las tuberías construidas con acero laminado entre otros tenemos los siguientes:

Resistencia mecánica, ningún otro material empleado en instalaciones de conducción de fluidos alcanza la cota de su resistencia mecánica, en aquellas instalaciones donde el factor Resistencia Mecánica sea el más relevante, por presiones elevadas, tensiones debido a dilatación, sobrepresiones debido a golpe de ariete, u otras causas, el tubo de acero es prácticamente insustituible, excepto por la tubería hecha en hierro dúctil fundido de patente francesa.

Los aumentos en la resistencia a la corrosión, el desarrollo de los modernos métodos de protección anticorrosivos sea por recubrimientos o por protección galvánica ha venido a minimizar una de las falencias más críticas de los aceros al carbono, su fácil deterioro en el ambiente atmosférico y más marcadamente en tubos enterrados o inmersos en medios acuosos.

La resistencia a la temperatura de los tubos de acero laminado hace que estos sean entre los materiales empleados en la conducción de

fluidos los de menor coeficiente de dilatación térmica, por lo que serán los que menores problemas de tensiones y deformaciones presenten. Su punto de fusión superior a cualquier otro material utilizado en sistemas de conducción, le permite mantener sus características mecánicas a temperatura muy por encima de la que soportarían los demás.

Son de gran versatilidad, dado el gran juego de figuras diferentes de que se dispone en accesorios y la facilidad que prestan los tubos contruidos de acero laminado en sus operaciones de corte, curvado, etc. Puede realizarse cualquier tipo de instalación con este tipo de tubería. En el anexo No. 1 se presenta un cuadro comparativo de propiedades de diversos materiales usados en tuberías donde vemos las bondades de la tubería de acero para su uso en acueductos.

En la selección o diseño de sistemas donde se usen tubos y tuberías deben de considerarse variables que afecten al sistema que se va a implementar, teniendo siempre presente que del buen diseño depende la confiabilidad de lo implementado.

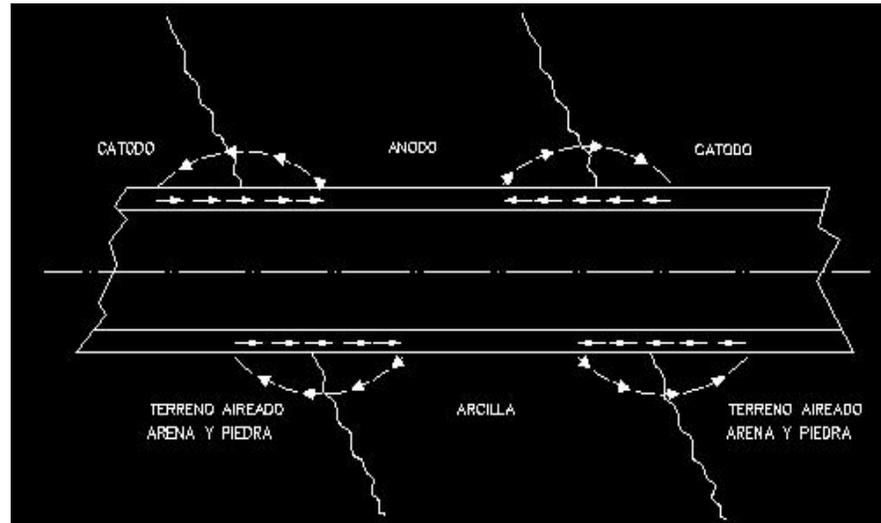
La estructura constituye un todo cuyo comportamiento está ligado a diversas cargas que generalmente son introducidas al sistema durante el proceso de construcción, montaje, y operación. Al diseñar

un sistema es necesario considerar varias cargas: las generadas por la presión del fluido, por el peso muerto (peso propio del tubo, aislamientos, accesorios, peso de material pétreo, etc.), además de las cargas vivas que son producidas por las cargas de prueba o de los procesos y también las cargas locales que se producen debido a que en los soportes o anclajes de sistema de tubería se producen reacciones.

Una de las principales causas de fallo de tuberías de conducción enterradas, especialmente las construidas con acero ordinario es la corrosión, por lo tanto se debe dar a este tema un tratamiento y consideraciones muy especiales, por definición sabemos que la corrosión es la destrucción de los metales, a través de la interacción con un ambiente, por un proceso electroquímico, es decir una reacción que envuelve un flujo de corriente eléctrica e intercambio de iones, el suelo de manera general es muy heterogéneo en donde se dan muchas variaciones de la velocidad de corrosión de los metales, el suelo en forma natural contiene los siguientes elementos arena, arcilla, cal y humus y pueden estar mezclados en diferentes proporciones a lo largo del recorrido del tubo de ahí sus diferentes velocidades de corrosión. De acuerdo al elemento predominante en la composición del suelo estos tienen varias denominaciones a saber:

suelos arenoso, magro-arenosos, magro - calcáreos, calcáreos, arcillosos, cenagosos, etc. El terreno o suelo por su contenido variable de humedad, sales y materia orgánica en descomposición es el electrolito más complejo de todos los que se pueden encontrar, para ampliar un poco más y entender la complejidad del tema veamos: si el oxígeno atmosférico no puede penetrar el suelo, como ocurre en suelo arcillosos, el hidrógeno producido a consecuencia de la reacción catódica en la estructura enterrada puede llegar a ser eliminado (oxidado) por una acción microbiana.

Este proceso es el resultado de una actividad metabólica de un microorganismo (la bacteria *Sporovidrio desulfuricans*) la cual se desarrolla en completa ausencia de oxígeno libre (condiciones anaeróbicas), los síntomas característicos cuando tenemos esta clase de reacción en las tuberías metálicas enterradas son el ennegrecimiento local del suelo por la formación del sulfuro de hierro y a veces el olor a ácido sulfúrico, cabe mencionar también que en cualquier terreno (en casos de tuberías enterradas actúa como electrolito), existen frecuentemente diferencias en la concentración de aire disuelto, por lo tanto si se coloca una tubería metálica en estas condiciones la parte menos oxigenada será la zona anódica y por lo tanto sufrirá los efectos de corrosión ver Figura 1.4



**FIGURA 1.4 CORROSIÓN DE TUBERÍAS AL ATRAVESAR TERRENOS HETEROGÉNEOS**

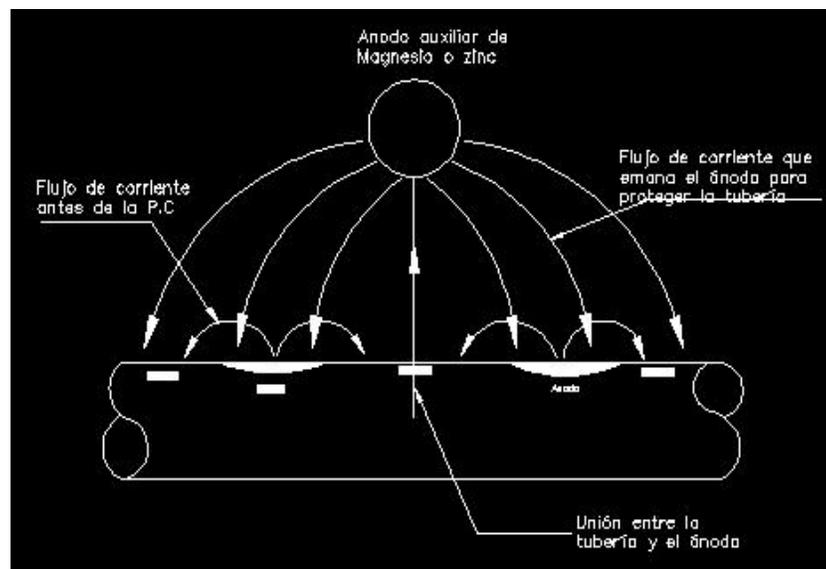
Por lo que se ha explicado podemos concluir que todo material sin la debida protección y en un medio que propicie el intercambio de electrones es susceptible de corroerse.

Para evitar esto existen algunos métodos comúnmente utilizados y probados para controlar la corrosión de las tuberías de acero enterradas.

Estos métodos se ubican en dos grandes campos, los recubrimientos/revestimientos protectores y la protección catódica, los recubrimientos /revestimientos anticorrosivos para tuberías enterradas deberán cumplir con las siguientes características: alta

resistencia eléctrica, debe impedir el paso de la humedad, buena adherencia, resistencia a los microorganismos, resistente al desprendimiento catódico, resistente al ataque químico, resistencia a la fricción y al impacto y debe cuidarse que el método de aplicación no dañe las propiedades de la tubería.

La protección catódica que se implemente, en su concepto primario y elemental debe de cancelar todas las descargas eléctricas que ocurren entre sectores anódicos y catódicos en la superficie de la tubería ver Figura 1.5 para un esquema básico.



**FIGURA 1.5 ESQUEMA BÁSICO DE PROTECCIÓN CATÓDICA**

Esta figura muestra como el área afectada del tramo de la tubería mostrado en la Figura 1.1 es convertido en cátodo con cancelación de todas las aéreas de descarga de corriente a través de la superficie de la tubería: es decir el ánodo auxiliar suministra la corriente que antes suministraba las áreas anódicas de la superficie del tubo

Otro de los factores importantes de tomar en cuenta para diseñar el segmento es la investigación en el mercado local de la disponibilidad y costos de materiales para de esta manera obtener costos y calidades adecuadas para así conseguir obras técnicamente confiables y económicamente competitivas. En el caso que nos ocupa que es la construcción de tubería de acero laminado para uso de agua potable la norma para este caso la norma AWWA (4.7.3) sugiere los siguientes aceros.

De estos materiales los que se encuentran comúnmente en el mercado local es el acero ASTM A36 y eventualmente, en cantidades no representativas, el ASTM 283, de ahí la importancia de investigar la disponibilidad de los materiales, se puede calcular basado en las formulas de diseño tubos con diversos materiales que presenten las mismas condiciones de resistencia a las cargas y a la corrosión.

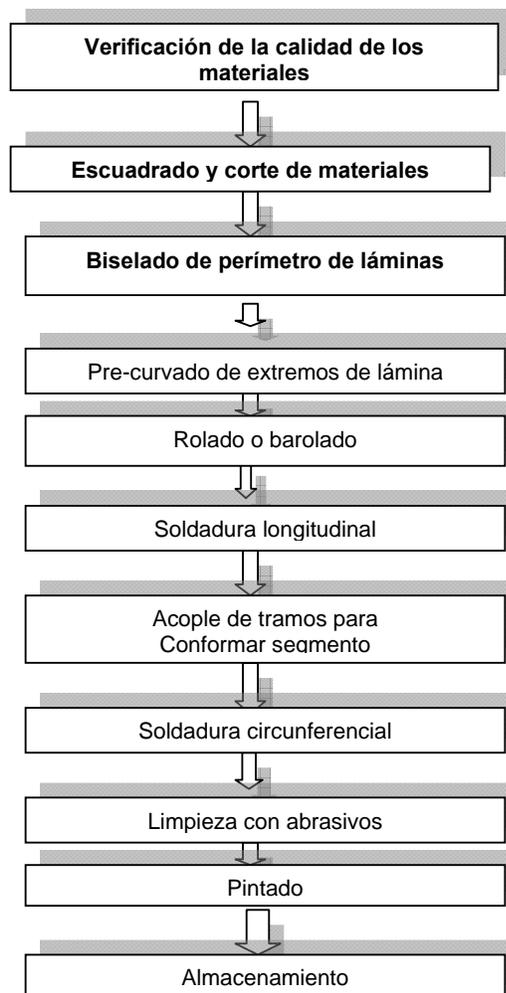
**TABLA 2**  
**ESPECIFICACIONES DE LÁMINAS DE ACERO A USAR EN**  
**FABRICACIÓN DE TUBOSNORMA AWWA C200**

| Especificación   | Grado | Punto mínimo de fluencia |       |
|------------------|-------|--------------------------|-------|
|                  |       | Psi                      | (Mpa) |
| ASTM A570/570M   | 30    | 30000                    | (207) |
|                  | 33    | 33000                    | (228) |
|                  | 36    | 36000                    | (248) |
|                  | 40    | 40000                    | (276) |
|                  | 45    | 45000                    | (345) |
|                  | 50    | 50000                    | (345) |
| ASTM A607/607M   | 45    | 45000                    | (310) |
|                  | 50    | 50000                    | (345) |
| ASTM A907/A907M  | 30    | 30000                    | (207) |
|                  | 33    | 33000                    | (228) |
|                  | 36    | 36000                    | (248) |
|                  | 40    | 40000                    | (276) |
| ASTM A 935/A935M | 45    | 45000                    | (310) |
|                  | 50    | 50000                    | (345) |
| ASTM A936/A936M  | 50    | 50000                    | (345) |
| ASTM A36/A36M    |       | 36000                    | (248) |
| ASTM A283/A283M  | C     | 30000                    | (207) |
|                  | D     | 33000                    | (228) |
| ASTM A572/A572   | 42    | 42000                    | (290) |
|                  | 50    | 50000                    | (345) |

### 1.3 Proceso de construcción aplicable

Según las especificaciones de diseño entregadas por el Municipio de el procedimiento a aplicarse es el de partir de una plancha de acero laminado plana, barolarla y luego unirla mediante procesos de soldadura eléctrica por fusión.

#### Diagrama de bloque de las operaciones o del proceso de construcción



Se deberá iniciar el proceso con la verificación de los materiales idóneos, es decir: comprobando que la calidad de metal sea el seleccionado, mediante la inspección de los documentos de fabricación y certificando el material en una institución con reconocida solvencia para el efecto. Seleccionado el diámetro final del tubo, deberá cortarse el metal en su desarrollo preciso, tomando en consideración la separación en la junta para alcanzar una buena penetración de la soldadura para lo cual se deberá prestar primordial importancia al buen diseño y preparación de las uniones a soldar.

Cortado y biselado el material, se procederá a cuadrar la plancha, para alcanzar un rectángulo lo más correctamente posible, ya que esta es la figura bidimensional que al rolarlo nos genera un tubo. Con la lámina cortada en forma rectangular, se debe empezar a pre curvar los extremos correspondientes, para darles la misma curvatura que tendrán los tubos en la parte media.

Una vez pre curvados los dos extremos, se deberá rolar todo el rectángulo, con lo cual debemos alcanzar la conformación de un tubo lo más perfectamente circular posible dejando una luz para permitir la correcta penetración de la soldadura y de acuerdo al diseño y la norma empleada.



**FIGURA 1.6 COMPOSICIÓN GRAFICA DE LOS PRINCIPALES PASOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SEGMENTO DEL TUBO**

Conformado el tubo, se debe empezar a soldar longitudinalmente, para alcanzar un eslabón de tubo. Los pasos que involucren soldadura deberán ser ejecutados de acuerdo a la norma empleada para el efecto. Una vez que se haya alcanzados varios tramos de tubos, se procederá a armar varios de éstos, para dar segmentos cuya longitud sea múltiplo entero de los tramos. En nuestro caso y por solicitud del dueño de la obra se realizó la unión de 4 tramos de 1,5 m de largo para conseguir un segmento de tubo de 6 m de largo.

Se debe proceder cuidadosamente para obtener un correcto alineamiento longitudinal del tramo final y se arman dejando en las costuras circunferenciales la abertura de diseño para permitir la penetración del metal de aporte o soldadura. Es necesario recalcar que para armar los tramos debe usarse gatas hidráulicas y/o grapas adecuadas de manera que el tubo no sufra golpes ni deformaciones plásticas y se mantenga las tolerancias dimensionales adecuadas. Con el segmento de tubo armado, se procede a soldar las uniones circunferenciales, cuidando en todo momento los parámetros propios de este proceso: selección de material de aporte, selección de dimensiones de material de aporte, control de voltaje, control de amperaje, velocidad de avance, descarga de fundente, velocidad de aportación, etc.



**FIGURA 1.7 VISTA DEL SEGMENTO DE TUBO TERMINADO DONDE SE OBSERVAN LA CANTIDAD DE TRAMOS QUE LO COMPONENTEN**

Luego que el tubo sea soldado en el número de eslabones solicitado debe procederse a una cuidadosa limpieza mecánica de todo aquello que signifique escorias salpicaduras, etc.

El tubo ya soldado en tramos deberá ser sometido a una rigurosa limpieza mediante chorro abrasivo al grado que corresponda tanto interior como exteriormente para luego aplicarse recubrimientos epóxicos , dejando en los extremos una distancia de 2" en los extremo sin pintar .

También es necesario como constructores comprobar, las condiciones de diseño de la obra a fin de verificar el grado de confiabilidad dada por el factor de seguridad utilizado el cual está relacionado con la expectativa de vida útil.

La comprobación más importante que se debe hacer sobre el diseño del segmento es la del espesor de la lámina a utilizar ya que en la mayoría de los proyectos de agua potable es el parámetro más representativo del diseño físico.

Para esta comprobación se utiliza la formula siguiente:

$$t = \frac{PD}{2S} \text{ (Ec No. 1)}$$

Donde:

**P** presión de diseño (suministrada por dueño de obra)

**D** diámetro externo del tubo

**S** esfuerzo de diseño (0.75 del esfuerzo de fluencia del material ASTM A36)

Si se reemplaza los datos en la ecuación (3b) se obtendrá t 1.55 mm.

Al comparar este resultado con los datos de diseño en lo que al

espesor se refiere este satisface sobradamente al encontrado por la formula.

#### **1.4 Normas de Fabricación**

En febrero del año 1904 se produjo un gran incendio que redujo a escombros una gran parte de la ciudad Estadunidense de Baltimore.

A pesar que los servicios contraincendios de las ciudades vecinas como Nueva York, Washington y Filadelfia acudieron prontamente a la ciudad que se estaba incendiando, la ayuda que prestaron no fue tan representativa, principalmente debido a un detalle especial, las mangueras de las otras ciudades no pudieron ser conectadas a los hidrantes de la ciudad de Baltimore ya que eran diferentes los conectores.

Este hecho ilustra la necesidad que se tuvo en años anteriores de establecer normas constructivas y de materiales que permitan estandarizar dimensiones y materiales para objetivos específicos. Además de esto la normalización de las partes y componentes normalizados no solo que asegura que se puedan fabricar partes en serie sino además esto permite asegurar al dueño de la obra que siempre puede encontrar partes intercambiables en el mercado con

solo buscar las partes fabricadas con la misma norma que la que se requiere cambiar. Las organizaciones operan en la mayor parte de los países del mundo, y muchas de las más conocidas pertenecen a la Organización Internacional de Estandarización (ISO), esta promueve el intercambio y uso de normas entre diversos países y trabaja en el desarrollo de normas internacionales.

El numero de estándares emitidos por otros países acerca de tuberías es un indicativo de su gran actividad en este campo por ejemplo tenemos.

|          |     |            |     |
|----------|-----|------------|-----|
| Canadá   | 16  | Francia    | 184 |
| Suecia   | 273 | Inglaterra | 73  |
| Alemania | 321 |            |     |

Existe la esperanza que se desarrollen estándares internacionales de aceptación general, algunos ya están publicados como recomendaciones, los vemos a continuación:

Tubería de hierro fundido

ISO/ R13 Tuberías de hierro fundido.- fundiciones especiales y hierro fundido para líneas principales a presión.

ISO/R49 Fundición de hierro maleable para accesorios roscados, de acuerdo con ISO/R7.

#### Roscado de tuberías

ISO/R7 Roscas para tuberías de gas y accesorios con juntas resistentes a la presión, Roscada (1/8" a 6").

#### Oleoductos

ISO/R51 Tuberías para el transporte de combustible líquidos – Diámetros nominales.

#### Tubería de acero

ISO/R64 Tubos de acero – Diámetros externos

ISO/R65 Tubos estirados y soldados con posibilidades de roscado según ISO/R7.

En Estado Unidos opera La Asociación Americana de estándares que es una de las mayores sociedades de ingeniería, esta asociación consiste de más de 100 sociedades técnicas y comerciales a las cuales legalmente sirve como dueños y utilizadores.

En el año de 1918 había cientos de asociaciones industriales, sociedades de ingeniería y departamentos del gobierno, los cuales estaban publicando normas y estándares muchos de estos estándares se mezclaban con otros publicados por otra sociedad o departamento y como es lógico suponer su duplicación creaba una gran confusión. ASA fue fundada precisamente para poner orden en esta situación y servir como generadora de autorizaciones de normas

y estándares de aplicación general así como promover la eventual adopción de normas internacionales.

Es a través de esta asociación que las sociedades de ingeniería pueden trabajar para crear normas unificadas de aceptación general. La mayoría de los estándares aprobados por ASA, en lo que a tuberías se refiere, son apadrinados por las siguientes asociaciones: La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), la Asociación Americana de Obras Hidráulicas (AWWA), La Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). En la construcción de tuberías para conducción de agua se maneja bajo los estándares emitidos por la Asociación Americana de Obras Hidráulicas (AWWA).

Y por tratarse de 800 mm de diámetro la norma a aplicarse es la siguiente: ANSI/AWWA C200-97 "AWWA STANDARD FOR STEEL WATER PIPE 6 INCH (150mm) AND LARGER.

Para la correcta aplicación de la norma, es necesario dejar constancia previamente de las especificaciones a seguir, según describe la norma en la introducción sección IIIA:

TABLA 3

**CARACTERISTICA MÁS IMPORTANTE DE LA NORMA APLICABLE  
PARA LA OBRA.**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>NORMA</b>                          | ANSI/AWWA C200-97 AWWA ESTÁNDAR FOR STEEL WATER PIPE 6 IN (150mm) AND LARGER  |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>                    | Tubo de acero soldado, costura recta longitudinal y circunferenciales diámetro exterior final 818 mm y en tramos de 6 m.  |
| <b>PRESIÓN INTERNA DE DISEÑO</b>      | 7.045 Kg/cm <sup>2</sup> (100 Lb/plg <sup>2</sup> )   |
| <b>ESFUERZO DE DISEÑO</b>             | Se considerará como esfuerzo de diseño máximo el 75 % del esfuerzo de fluencia  |
| <b>MÍNIMO ESPESOR DE PARED</b>        | Según las condiciones estudiadas por el cliente, se asume como espesor de pared 8mm, con la tolerancia de norma.  |
| <b>Instrucciones de Inspección</b>    | Se dará las facilidades de inspección en todo momento y en cada parte del proceso para verificación del proceso de fabricación.   |
| <b>PLANOS Y CÁLCULOS</b>              | En caso de requerir planos o cálculos nos limitaremos a suministrar el plano de un tubo con los cálculos correspondientes   |
| <b>RECUBRIMIENTOS</b>                 | Bajo norma ANSI/AWWA C210, la cual recomienda el uso de recubrimiento interno de epóxico grado alimenticio con espesor de 16 mils (400 micras) y recubrimiento externo coal tar con espesor de 16 mils (400 micras) |
| <b>MARCAS</b>                         | Se marcará los tubos siguiendo una secuencia lógica o como lo determine el cliente.   |
| <b>MANIPULEO</b>                      | El manipuleo se lo realizará con fajas que no deterioren el recubrimiento   |
| <b>SEGUROS</b>                        | La presente oferta no incluye ningún tipo de seguros para la tubería  |
| <b>ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL</b>  | Acero ASTM A36  |
| <b>SOLDADURA</b>                      | Manual y semiautomática MIG, según especificación 4.11.3 de la norma  |
| <b>CALIFICACIÓN DE SOLDADORES</b>     | Código ASME sección No. IX o de común acuerdo con el dueño de obra  |
| <b>PRESIÓN DE PRUEBA</b>              | Por pedido del dueño de obra será mínimo 20 bar   |
| <b>LONGITUD DEL TUBO</b>              | Se fabricarán tubos de 6m de largo con las tolerancias de norma   |
| <b>EXTREMOS</b>                       | Se los entregan biselados a 30°   |
| <b>AGARRADERAS</b>                    | En caso que el cliente lo solicite se colocaran elementos para sustentar el tubo, previa discusión de forma y diseño  |
| <b>PRUEBAS DE EMPAQUES</b>            | No es necesario ya que la tubería no contendrá empaque  |
| <b>SECCIONES ESPECIALES</b>           | No se estipulan secciones especiales  |
| <b>MÉTODO DE CONTROL DE SOLDADURA</b> | Tintas penetrantes aleatoriamente.  |

## 1.5 Costos Proyectados

**TABLA 4**  
**DATOS GENERALES**

| Descripción                 | Cantidad | Unidad              |
|-----------------------------|----------|---------------------|
| Peso bruto                  | 210.820  | Kg.                 |
| Peso por metro              | 158      | Kg./m.              |
| Peso neto                   | 176.774  | Kg.                 |
| Long. A cuadrar             | 5.976    | m.                  |
| Long. A biselar             | 5976     | m.                  |
| # de barolas                | 747      | Unidades            |
| Long. a soldar              | 2.529,95 | Metros lineales     |
| Área total                  | 5.630    | m. <sup>2</sup>     |
| Plazo entrega obra          | 84       | Días                |
| Arreglo de planchas         | 100      | Metros lineales/día |
| Biselado de planchas        | 100      | Metros lineales/día |
| Barolado de planchas        | 42       | Unidades/día        |
| Soldado                     | 42       | Metros lineales/día |
| Arenado /<br>(Sandblasting) | 42       | Metros lineales/día |
| Pintado                     | 94       | Metros cuadrado/día |

**TABLA 5**  
**DATOS PARTICULARES**

| Rubro                            | Subtotal             |
|----------------------------------|----------------------|
| <b>1.- Materiales directos</b>   | \$ 213.556,76        |
| <b>2.- Materiales indirectos</b> |                      |
| Insumos                          | \$ 15.255,60         |
| Seguridad                        | \$ 1064,00           |
| Pruebas                          | \$ 7.450,00          |
| <b>3.- Mano de obra</b>          |                      |
| Directa                          | \$ 26.520,00         |
| Indirecta                        | \$ 2400,00           |
| <b>4.- Amortizaciones</b>        |                      |
| Maquinarias                      | \$ 2.200,00          |
| <b>5.- Recubrimiento</b>         | \$ 86.166,72         |
| <b>6.- Transporte</b>            |                      |
| Movilizaciones                   | \$ 13.300,00         |
|                                  |                      |
| <b>Gran total</b>                | <b>\$ 368.363,08</b> |
| <b>Costo por metro</b>           | <b>\$ 328,89</b>     |
| <b>Costo por Kg</b>              | <b>\$ 2,08</b>       |
| <b>P.V.P c/m.</b>                | <b>\$ 371,74</b>     |
| <b>P.V.P. c/Kg.</b>              | <b>\$ 2.36</b>       |

# CAPITULO 2

## 2. CONSTRUCCION DE SEGMENTOS

### 2.1 Cronograma de fabricación.

Las condiciones contractuales del presente caso, para realizar una obra de ingeniería con financiamiento y supervisión extranjera nos llevó a establecer un cronograma muy ajustado al tiempo.

Limitado por nuestros contratantes luego el diagrama que se presenta en la figura 2.1 contiene las actividades más destacables y su tiempo de duración el mismo que fue aprobado por todas las partes intervinientes.

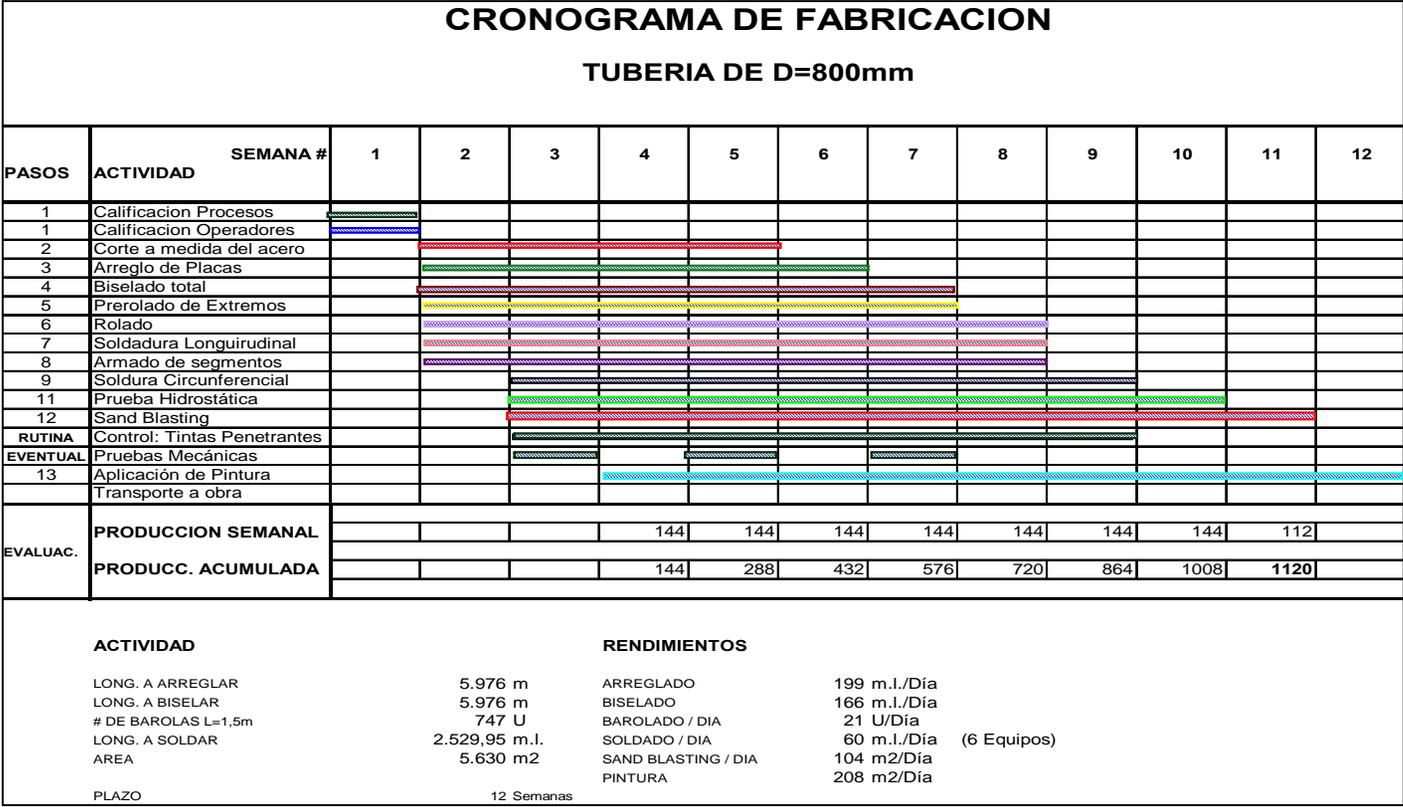


FIGURA 2.1 CRONOGRAMA DE TRABAJO

## **2.2 Certificación del material base**

Antes de empezar con la obra se retira la certificación emitida por el fabricante de las láminas, esta es entregada por el vendedor en el Ecuador, en el caso la Compañía Centroacero S.A.

Para empezar la obra con absoluta seguridad de que el material es el descrito en las hojas del fabricante es necesario certificación del material lo cual fue hecho por dos vías:

a.- Internamente hecha por el autor a través de la gentil colaboración de la empresa Andec-Funasa para realizar análisis químico y ensayos de tracción.

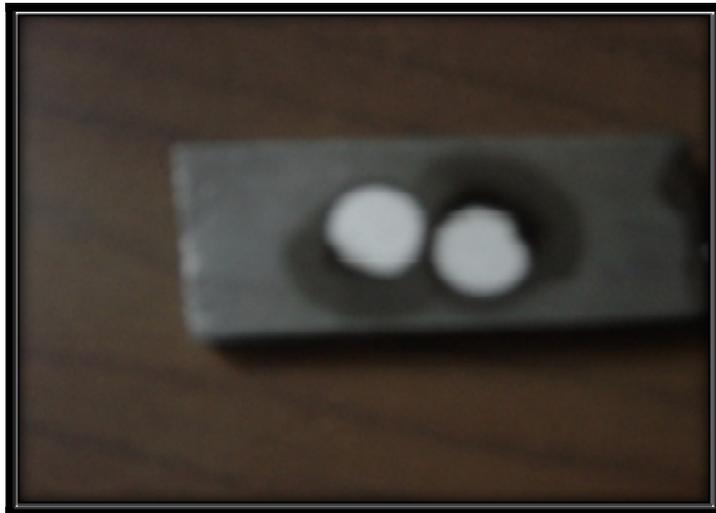
b.- Certificación que con el mismo objetivo fue encomendada al Ing. Ignacio Wiesner Falconí y cuyo informe consta como anexo en esta tesis (ver apéndice No. 1 ).

Se procedió a confeccionar las probetas para los ensayos requeridos tal como lo indica la norma ASTM A – 370.

Luego de realizado los ensayos de tracción se procedió a cortar una muestra para realizar dos quemas en la máquina de rayos X (ver figura 2.2 y 2.3).



**FIGURA 2.2 PROBETAS PARA LA HOMOLOGACIÓN DEL MATERIAL LUEGO DEL ENSA YO DE TRACCIÓN**



**FIGURA 2.3 MUESTRA DE LA PROBETA LUEGO DE LAS QUEMAS EFECTUADAS PARA ANÁLISIS QUÍMICO**

**TABLA 6**  
**RESULTADOS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN HOMOLOGACIÓN**  
**DE MATERIAL**

| # de probeta | Espesor (mm) | Ancho (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Carga de Fluencia (Kgf.) | Resistencia a la fluencia (Kgf /mm <sup>2</sup> ) | Carga Máxima (Kgf) | Resistencia a la tracción (Kgf /mm <sup>2</sup> ) | Elongación % |
|--------------|--------------|------------|-------------------------|--------------------------|---|--------------------|---|--------------|
| 1.1          | 8.5          | 12.5       | 106.25                  | 3980.6                   | 37.46   | 5364.2             | 50.48   | 23.66        |
| 1.2          | 8.5          | 12.7       | 109.65                  | 4214.2                   | 38.43   | 5248.9             | 47.86   | 25.03        |
| 1.3          | 8.5          | 12.7       | 107.95                  | 3763.2                   | 34.86   | 5407.1             | 50.08   | 24.81        |

**TABLA 7**  
**RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO**

| Quema | Fe    | C    | Mn   | Si    | P      | S      | Cu    | Cr    | Ni   | Mo   | Sn     | Al     | Zn   | Pb    | V    |
|-------|-------|------|------|-------|--------|--------|-------|-------|------|------|--------|--------|------|-------|------|
| 01    | 98.46 | 0.07 | 1.09 | 0.22  | 0.01   | 0.007  | 0.01  | 0.02  | 0.00 | 0.03 | 0.003  | 0.0443 | 0.00 | 0.004 | 0.02 |
| 02    | 98.69 | 0.18 | 0.79 | 0.17  | 0.021  | 0.010  | 0.02  | 0.01  | 0.00 | 0.03 | 0.07   | 0.051  | 0.00 | 0.007 | 0.02 |
| Prom. | 98.57 | 0.12 | 0.94 | 0.195 | 0.0155 | 0.0085 | 0.015 | 0.015 | 0.00 | 0.03 | 0.0365 | 0.0476 | 0.00 | 0.005 | 0.02 |

Si comparamos los resultados obtenidos en los ensayos con los de la Norma ASTM A 36 nos daremos cuenta que no existe ninguna inconformidad y los resultados entregados por el Ing. Ignacio Wiesner Falconí (ver apéndice No. 1).

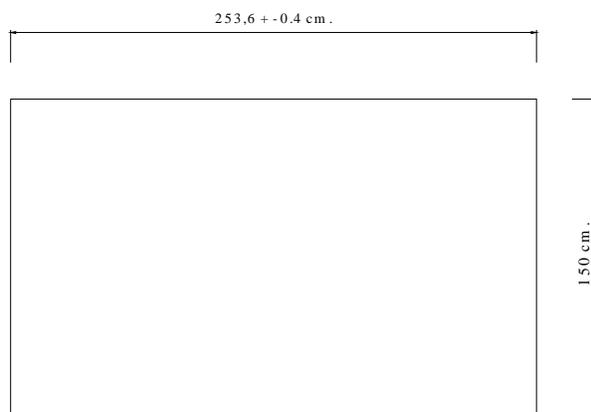
Ratifican esto, por lo tanto homologamos positivamente el material ensayado con la norma ASTM A – 36

### **2.3 Preparación de placas de segmentos para rolar y soldar**

La primera actividad en preparación del material para rolar y soldar es el corte a medida para que la lámina al barolarse de un cilindro lo más perfectamente posible tanto en dimensión como en forma y manteniendo las tolerancias que la norma indica en AWWA C200-97 párrafo 4.12.

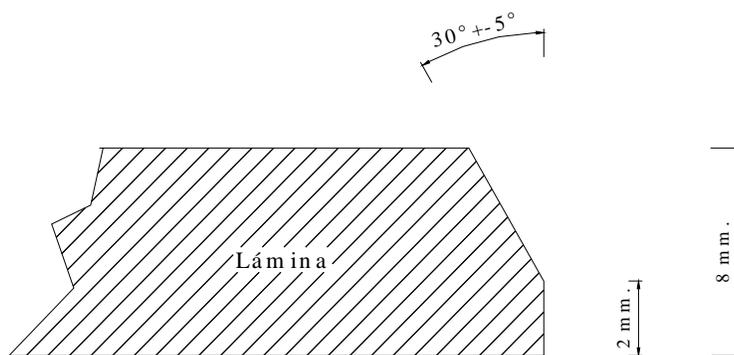
Como una de las premisas fundamentales en la construcción es el costo de un análisis de este se concluyo que más barato es pedir al proveedor de material las láminas biseladas y cortadas a medida, quedando en controlar únicamente el escuadrado y dimensión adecuada.

Para que el proveedor entregue las láminas a medida se le entregó el siguiente esquema.



**FIGURA 2.4 ESQUEMA DE CORTE DE LÁMINA**

Luego de efectuado el corte el proveedor realizó el biselado basado en el diseño siguiente:



**FIGURA 2.5 ESQUEMA DE VISTA EN CORTE DE LA PREPARACIÓN DE LA LÁMINA PARA BAROLAR**

El escuadrado correcto se comprobó midiendo la igualdad de las diagonales del rectángulo formado por la plancha, la correcta ejecución del bisel se comprobó mediante calibrador de soldadura multipropósito. Ver figura 2.6.



**FIGURA 2.6 CALIBRADOR MULTIPROPÓSITO DE MEDICIÓN DE BISELES Y OTROS PARÁMETROS**

La medida de la longitud de la plancha resulta de sacar la longitud tomando el diámetro neutro de un cilindro de 800 mm. de diámetro

interno y de 8 mm. de espesor menos 2 mm. Que es la luz necesaria para lograr una buena penetración de la soldadura.

#### **2.4 Procedimiento de rolado y soldadura**

La operación de rolado de la lámina es una actividad mediante la cual la lámina que se va curvar se introduce en un sistema de rodillo, generalmente constituidos por tres elementos cuyos ejes paralelos entre sí están dispuestos según los vértices de un triángulo isósceles, los dos rodillos inferiores sostienen la lámina mientras que el superior la mantiene siempre pegada a ellos, haciendo girar en el mismo sentido la pareja de rodillos inferiores, y dejando independiente el rodillo superior se imprime en la lámina un movimiento de traslación.

Imprimiendo además al rodillo superior un empuje vertical hacia abajo y teniendo fijos los rodillos inferiores la lámina recibe una flexión permanente en correspondencia con la generatriz de contacto con el rodillo superior. Habiendo dispuesto los tres rodillos en una posición relativa y haciéndola además girar en cierto sentido, se obliga a la chapa a pasar entre los ejes adoptando cierto grado de curvatura.

Combinando así el movimiento de traslación horizontal de la lámina y el empuje vertical de los rodillos, con cierto número de pasadas sucesivas, se produce en la lámina una serie de curvados que va en aumento hasta alcanzar la forma cilíndrica requerida y que es verificada en cada pasada de rolado por medio de un escantillón hecho con varilla redonda de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

Los extremos de las láminas deben ser pre-rolados a fin de obtener en los sectores donde va a unirse el cilindro mediante soldadura, este pre-rolado se realiza en la misma máquina roladora, ya que no se debe hacer mediante golpes. Ver Figura 2.7. y 2.8 Para probar el correcto pre-rolado se comprobó la curvatura mediante una plantilla. Una vez pre-rolada la lámina se procedió al rolado completo hasta cerrar el cilindro y se colocó puntos de soldadura en la unión para evitar la recuperación elástica y no vuelva a deformarse. Ver Figura 2.9 y figura 2.10.

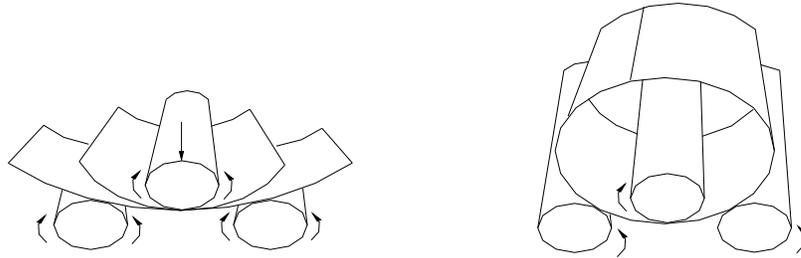
La máquina que se usó para el rolado de estas láminas tiene las siguientes características:

Marca: Kunla/Backteman

Capacidad de espesor de rolado: 25 mm.

Ancho Máximo: 3.00 m.

Diámetros de rodillo: superior: 10" Inferiores: 8



**FIGURA 2.7 ESQUEMA DEL PROCESO DE ROLADO**



**FIGURA 2.8 PRE-ROLADO DE LÁMINA**



**FIGURA 2.9 PROCESO DE ROLADO ARTESANAL**



**FIGURA 2.10 CHAPA DE ACERO CILINDRADA Y SOLDADA CON PUNTOS**

El proceso de soldadura, escogido de común acuerdo con el dueño de obra según el AWWA C200-97 párrafo 4.11.3, fue el MIG (metal inert gas), donde el arco eléctrico se forma y se mantiene entre un alambre sólido que hace las veces de electrodo continuo y la pieza o piezas que se van a unir. La protección del arco y metal líquido se realiza mediante gas que puede ser inerte.

La soldadura por el procedimiento MIG es más productivo que la soldadura por arco manual, donde las pérdidas de productividad se producen cada vez que el soldador cambia el electrodo consumido, en la soldadura por arco manual también es notable la pérdida de material de aporte cuando el soldador bota a la basura el remanente del electrodo que queda sujeto en el porta-electrodo. De observaciones practicas podemos advertir que por cada kilo de soldadura para arco manual solamente el 65 % de este es realmente aprovechado en la unión soldada en cambio el uso de alambre sólido o alambre tubular ha incrementado la eficiencia entre 80 – 95% a los procesos de soldadura.

El criterio de diseño de la soldadura fue que de acuerdo a la calidad del metal base la resistencia de la soldadura debe ser similar o superior a la resistencia del metal base tal efecto normalmente se

logra con: manteniendo el espesor de la unión soldada similar a la pared del tubo y eligiendo un electrodo cuya resistencia a la tracción sea igual o mayor al metal base y lo anterior mas una sobre-monta del espesor en el cordón de soldadura, para aumentar el espesor en esa parte, con cierta limitación, ahora bien debido a que la resistencia del material base (ASTM A36) es de 60.000 lbf./pulg<sup>2</sup>, el electrodo a utilizar debe ser uno que tenga igual o mayor resistencia .

Para nuestro caso utilizamos electrodo ER - 70S – 6 que está de acuerdo con la norma AWS A.5 18-93 en lo que se refiere a aceros estructurales tipo ASTM A36.

El proceso de soldadura se inicia prácticamente desde que se coloca puntos en la unión longitudinal de la placa rolada. Ver foto No. 10 Cuidando el espaciamiento y el tamaño del punto de manera tal que, además de tener la suficiente resistencia sean colocados adecuadamente y no se conviertan luego en puntos donde se generen fallas, antes de proceder al relleno de las costuras longitudinales se aseguró que los puntos estén perfectamente limpios y planos, tanto para las costuras longitudinales como para las circunferenciales el primer cordón fue realizado internamente en el tubo, luego se procedió a esmerilar el cordón con disco de esmeril de

1/8" de espesor del lado externo del tubo hasta dejar el metal completamente blanco, vale recalcar que por el proceso de soldadura utilizado el tiempo que se emplea en este esmerilado no es mayor, a continuación se procedió a realizar el cordón de pase caliente con un amperaje mayor al que se utilizó en el primer pase procediendo luego a una limpieza mediante cepillo eléctrico del cordón producido por el pase caliente, esto se efectúa solo por precaución ya que como es de suponerse en proceso de soldadura usado no produce escoria.

Una vez limpio el cordón se procedió a colocar la capa de relleno con un amperaje menor que el pase precedente luego de esta etapa se procede a limpiar nuevamente el cordón con el cepillo eléctrico y se realiza el cordón de soldadura que servirá para la presentación externa.

Vale recalcar que para realizar el acople entre barola y barola solo se utilizó gatas hidráulicas y que toda la soldadura se la realizó en posición (1G) ya que los tubos se colocaron sobre rodillos lo que permitió su giro durante todo el proceso de soldadura de igual manera la soldadura de los cordones longitudinales se realizaron en posición plana (2G). Ver figura 2.11, figura 2.12, figura 2.13.



**FIGURA 2.11 PROCESO DE SOLDADURA CON PROCESO MIG PARA ENSAMBLAJE DE TRAMOS NODULARES PARA HACER SEGMENTOS LARGOS DE 6 M.**



**FIGURA 2.12 DETALLE DE SOPORTE QUE PERMITEN EL MOVIMIENTO GIRATORIO Y REALIZAR EL TRABAJO EN UNA POSICIÓN**



**FIGURA 2.13 OBREROS REALIZANDO EL PROCESO DE SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL PARA LA UNIÓN DE TRAMOS PEQUEÑOS Y HACER SEGMENTOS LARGOS**

A continuación presentamos un cuadro de los parámetros involucrados en los distintos pases de soldadura de las costuras longitudinales y circunferenciales que se utilizaron: (son valores promedios).

**TABLA 8**  
**PARÁMETROS BÁSICOS DEL PROCESO GMAW (MIG)**

| Varilla de aporte | Ø de alambre (mm) | Amperaje (amperios) | Voltaje (voltios) | Flujo CO <sub>2</sub> (Lt/minuto) | Flujo Ag (Lt/minuto) | Velocidad de Alimentación alambre (m/minuto) |
|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|--|
| ER-70S-6          | 0,9               | 110                 | 18                | 9,35                              | 1,65                 | 5.3  |

### 2.5 Procesos de acabado: arenado y aplicación recubrimiento.

Como se explico en el ítem 1.2 uno de las mayores causas del deterioro de los metales especialmente cuando están enterrados es la corrosión, que no es otra cosa que la interacción entre el medio que rodea a la tubería y la superficie de esta y que produce un flujo de electrones o iones, trayendo como consecuencia la destrucción del metal.

Para minimizar esto, uno de los métodos más ampliamente aceptado por la mayoría de las normas técnicas es la de colocar un barrera o recubrimientos que impida el contacto directo entre el medio y la superficie desnuda del metal, en la ingeniería de la construcción los recubrimientos de superficie más comúnmente usados son las

pinturas estas basan su acción bien por interponer entre el metal y el medio en contacto, una película impermeable, o por la acción de ciertos pigmentos metálicos llamados inhibidores o por una combinación (que es la más común) de ambos, lograr convertir una superficie en completamente impermeable, con pinturas, es muy difícil debido a que las moléculas del vapor de agua y las moléculas del oxígeno son muy pequeñas.

Y si además, como es normal, en el metal existen áreas anódicas y catódicas estas producen una presión electrostática para que los átomos o iones cargados eléctricamente traten de pasar la membrana impermeable constituida por el espesor depositado de pintura.

Rara vez se confía en este efecto de barrera impermeable para detener la corrosión, sino que se recurre a la protección de pigmentos inhibidores de corrosión para lograr una acción combinada. Las películas que reúnen las mejores propiedades aislantes de este tipo lo constituyen las bituminosas, las acrílicas, las vinílicas, algunas fenólicas formaldehídicas butiladas y además los epoxis curados por poliamida y las curadas con amina que son las

mejores dentro de los epoxis. Las pinturas pigmentadas son más efectivas a pesar de ser por lo general más porosas.

Es que impiden la corrosión por otros mecanismos propios de cada pigmento, estos mecanismos pueden responder a los siguientes principios:

Reaccionar con los componentes de los vehículos de transporte de la pintura o pigmentos para formar jabones que efectivamente impermeabilicen la película, dar un extracto acuoso alcalino (para lo cual el vehículo elegido debe tener resistencia alcalina regulada a la cantidad de álcali presente), producir un extracto oxidante capaz de oxidar al hidrogeno ferroso soluble a hidrogeno férrico insoluble y compacto que impide una oxidación posterior del sustrato.

Notaremos que el oxígeno que es un agente capaz de provocar la corrosión, aquí actúa exactamente en sentido contrario produciendo la pasividad del hierro en forma indirecta.

Producir una película de átomos perteneciente al pigmento, que se sitúan en el área catódica e impide el acceso de electrones desde el ánodo evitando así que los átomos de hierro pasen a la solución,

también en las pinturas existen pigmentos metálicos que protegen al hierro mediante su propio sacrificio. No hay ningún pigmento que actúe única y específicamente por medio de un determinado mecanismo de protección, sino que un pigmento dado impide la corrosión por uno o algunos de los mecanismos aceptados y que los demás juegan su parte en menor grado en el proceso de protección.

Este grado puede variar para un solo pigmento por las condiciones de exposición y es por otro lado lo que ocurre en la práctica. Un buen anticorrosivo posee pigmentos distintos, unos para dar la alcalinidad necesaria, otros como pasivantes anódicos, otros formadores de jabones metálicos que aumenten la impermeabilidad de la película y como ligante.

De manera tal que se recurre a una acción combinada para evitar la corrosión.

Como hemos analizado las protecciones anticorrosivas por pintura teóricamente son fiables, sin embargo para que este método de protección tenga una eficiencia adecuada a su costo es necesario considerar otros factores complementarios entre los que mencionaremos los siguientes:



**FIGURA 2.14 SISTEMA DE ARENADO POR CHORRO DE ARENA A PRESIÓN DE AIRE (SANDBLASTING) LADO EXTERNO**



**FIGURA 2.15 SISTEMA DE ARENADO POR CHORRO DE ARENA A PRESIÓN DE AIRE (SANDBLASTING) LADO INTERNO**

**Preparación de superficie.** Se ha comprobado a través de ensayos realizados que el factor más importante para que un revestimiento protector pueda cumplir con su cometido es la preparación adecuada de la superficie metálica donde este se va a aplicar. Este factor puede llegar a ser incluso más importante que la calidad del revestimiento mismo.

En otras palabras, un sistema de recubrimiento con recubrimientos mediocres sobre una superficie metálica preparada de manera adecuada se comporta en general mejor que si se emplea recubrimientos de calidad superior sobre una superficie mal preparado. De manera general se ha aceptado que el método de limpieza por chorro de abrasivo o granallado como aquel con el cual se pueden conseguir los mejores resultados tanto en la limpieza como en la textura de la superficie (patrón de anclaje de la misma), siendo comparativamente el sistema más económico. Antes de 1930 esta limpieza por chorro de abrasivo solo podía ser lograda utilizando aire comprimido, de hecho, hoy en día existen casos en los cuales la limpieza sólo se puede conseguir por este método. Luego, con la introducción del método de limpieza con abrasivo utilizando sólo fuerza centrífuga o los métodos de limpieza mediante chorro de agua a presión, se logró que los sistemas fueran más productivos, de

mayor eficiencia y en algunos casos menos costosos. Sin embargo los métodos de limpieza por abrasivos continúan siendo los más utilizados en nuestro país, para limpieza de tubería en campo, por su versatilidad, portabilidad y bajo costo en comparación a otros métodos de preparación de superficies metálicas en tubos. Aunque existen varios materiales que pueden servir como abrasivos, el más común por su existencia en casi todas partes es la arena silica dulce, la que en granulometrías adecuadas nos permiten tener perfiles de anclaje y preparación de superficies de diversos grados lo que va de acuerdo al tipo de pintura a utilizar.

Para identificar los diversos grados de preparación de superficies existen normas internacionalmente aceptadas que nos permiten conocer las características particulares de cada grado de preparación superficial, (ver anexo No.3). **Método de aplicación** existen algunos métodos de aplicación de pintura a saber, mediante brochas, rodillos pulverizadores y sistemas de lanzamiento de pintura a presión (airless), el método más utilizado industrialmente hablando es el últimamente mencionado en el que se utiliza presión hidráulica para descargar pintura a altas presiones y no para atomizarla, lo cual proporciona espesores de películas óptimos y permite la aplicación de recubrimientos de alta viscosidad.



**FIGURA 2.16 OBRERO APLICANDO PINTURA POR EL MÉTODO DE PRESIÓN (AIRLESS)**

Actualmente los fabricantes de pintura han realizado amplias investigaciones y desarrollados sistemas completos de pintura para distintos medios en los cuales van a estar inmersos las superficies metálicas.

Existen actualmente diversas normas que regulan la aplicación de pinturas en el interior y exterior de tuberías dependiendo del uso o las condiciones de trabajo a la que va a estar sometido este, en el presente caso es decir del trabajo que es motivo del informe la norma

utilizada de común acuerdo con el contratante fue la ANSI/AWWA C210-97, por la que se estableció que:

Grado de limpieza superficial interior y exterior: SSPC SP 5 / NACE

No. 1

Pintura externa: BREA EPOXICA (COAL TAR)

Pintura interna: EPOXI POLIAMINA grado alimenticio

Espesor de película seca: Externa: 420 micras Interna: 500 micras

## CAPITULO 3

### 3. EVALUACION

#### 3.1 Inspección radiográfica de los segmentos

Una vez empezada la obra Ingenieros de la Compañía Usuaría final realizaron una visita a los talleres en la que se efectuaba la construcción y objetaron la no toma de pruebas radiográficas de las uniones soldadas y contrataron a personal de una compañía dedicada a los ensayos no destructivos, para que las efectúe, dando como resultado varias fallas de las cuales se consideró la falta de fusión como la más crítica para la correcta operación del acueducto.

En el contrato original las pruebas que se realizarían en las uniones soldadas eran únicamente tintas penetrantes realizadas de manera aleatoria. Por lo que se generó un conflicto ya que de parte de la contratista no había incumplimiento del contrato pero la Contratante,

con toda razón, buscaba garantías suficientes de que la tubería resistiría adecuadamente la presión a la que se la sometería en condiciones de operación, por lo tanto la solución que planteé para salir del conflicto y continuar con la construcción fue la siguiente:

Elaborar los tubos siguiendo las normas AWWA en lo aplicable a los términos del contrato cambiando el proceso de soldadura manual (SMAW) a uno de soldadura de protección a la unión soldada mediante gas (GMAW), la realización de pruebas hidrostáticas aleatorias, así como ensayos físico de tracción, doblado y dureza y pruebas metalográficas.

Como de los cálculos de resistencia de materiales la tubería estaba sobredimensionada se sugirió realizar las pruebas hidrostáticas y físicas al tubo que presentaba la falla más crítica y además, realizar un estudio de el factor de seguridad que resulte de la unión soldada con las fallas reportadas en las radiografías, sugiriendo que esto sea realizado por una institución seria y de prestigio como la ESPOL (informe en el anexo, y del cual por ética se borro el nombre de la compañía contratista y contratante). Una vez que el informe elaborado por la ESPOL fue aprobado. Se realizo un plan de trabajo para la aceptación de la obra que se anuncia el siguiente ítem.

### **3.2 Plan de trabajo para aceptación de la obra**

A.- Certificación de la resistencia de la unión soldada que mediante radiografía presento fallas. (Realizado por la ESPOL)

B.- Cambio de proceso de soldadura por electrodo revestido por proceso de soldadura por alambre con protección de gas

C .- Pruebas hidrostática aleatorias al resto de tramos de tubos realizadas paralelamente por La ESPOL y el autor de este informe.(4 pruebas)

D.- Pruebas físicas de la unión soldada (tracción, doblado, dureza) de muestras tomadas de segmentos de tubos probados hidrostáticamente (4 pruebas), realizadas igualmente por dos vías una por la ESPOL y otra por el autor

E.- Pruebas metalográficas de la unión soldada con las muestras del ítem b

F.- Cálculos del factor de seguridad.

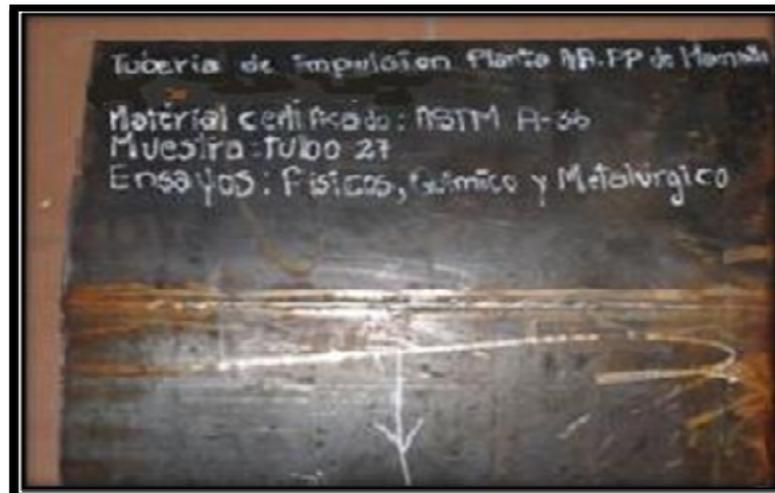
### **3.3 Prueba hidrostática y evaluación mecánico – metalúrgico de la unión soldada.**

Como una manera de garantizar la calidad de los trabajos realizados y con el fin de asegurarse que los segmentos de tubos no fallen a las presiones normales de operación y de acuerdo a las normas constructivas, se realizaron 4 pruebas hidrostáticas las cuales

constaron con la presencia del delegado de la ESPOL Ing. Ignacio Wiesner quien dio fe de lo ejecutado, se escogió el segmento de tubo de acuerdo al criterio del fiscalizador de la obra Ing. Carlos Alvarado, de grupos que correspondían a una longitud de 250 m. La presión de prueba de acuerdo al contrato fue someter a los segmentos seleccionados a una presión interna de 300 psi durante 1 hora.

**Prueba No.1** Resultados prueba hidrostática No.1 (tubo No.27): Luego de permanecer el segmento del tubo durante una hora a la presión de prueba acordada 300 psi, no se encontraron fugas en ninguna parte de los cordones de soldadura por lo que se dio como satisffecha la prueba hidrostática para el primer grupo de tubos y se recibió autorización por parte del fiscalizador para despresurizar el tubo

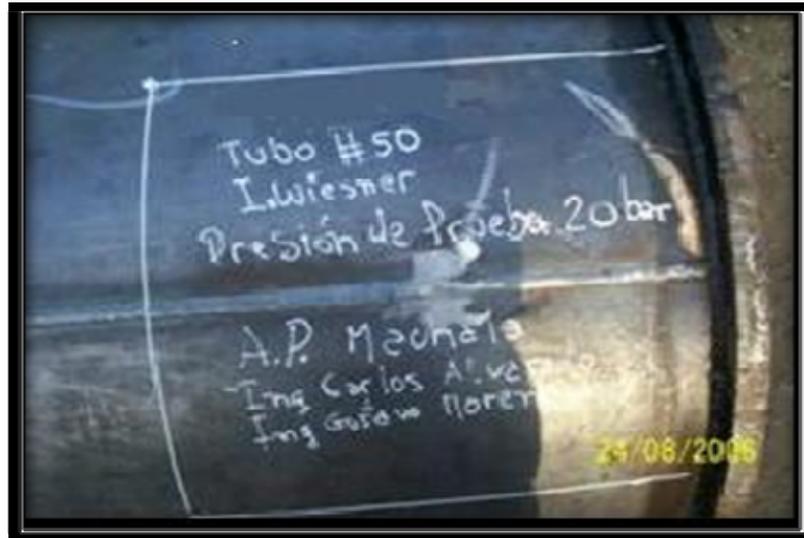
**Prueba No. 2** Resultados prueba hidrostática No 2: Luego de permanecer el segmento del tubo durante una hora a la presión de prueba acordada 300 psi, no se encontraron fugas en ninguna parte de los cordones de soldadura por lo que se dio como satisffecha la prueba hidrostática para el segundo grupo de tubos y se recibió autorización por parte del fiscalizador Ing. Carlos Alvarado para despresurizar el tubo y cortar un segmento para la realización de las pruebas mecánicas y metalúrgicas de la unión soldada.



**FIGURA 3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA TOMADA PARA REALIZAR PRUEBAS TUBO NO. 27**



**FIGURA 3.2 EN LA PRESENTE FOTO SE APRECIA LA PRESENCIA DURANTE LA PRUEBA AL FISCALIZADOR DE LA OBRA ING. CARLOS ALVARADO, AL ING. I. WIESNER Y AL AUTOR DEL INFORME**



**FIGURA 3.3 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PARA ENSAYOS DEL TUBO**

### **Prueba No. 3**

Resultados prueba hidrostática No. 3:

Luego de permanecer el segmento del tubo durante una hora a la presión de prueba acordada 300 psi, no se encontraron fugas en ninguna parte de los cordones de soldadura por lo que se dio como satisfecida la prueba hidrostática para el tercer grupo de tubos.

Se recibió autorización por parte del fiscalizador Ing. Carlos Alvarado para despresurizar el tubo y cortar un segmento para la realización de las pruebas mecánicas y metalúrgicas de la unión soldada.

#### Prueba No. 4

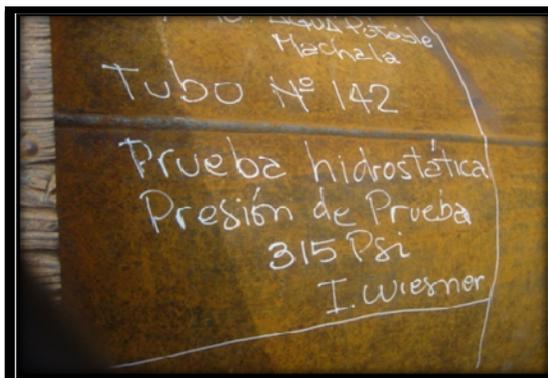
Resultados prueba hidrostática No.4:

Luego de permanecer el segmento del tubo durante una hora a la presión de prueba acordada 300 psi, no se encontraron fugas en ninguna parte de los cordones de soldadura por lo que se dio como satisfesa la prueba hidrostática para el cuarto grupo de tubos.

Se recibió autorización por parte del fiscalizador para despresurizar el tubo y cortar un segmento para la realización de las pruebas mecánicas y metalúrgicas de la unión soldada.



**FIGURA 3.4 MUESTRA DEL TUBO NO. 110 ENSAYADO HIDROSTÁTICAMENTE A 300 PSI.**



**FIGURA 3.5 MUESTRA DEL TUBO 142 ENSAYADO HIDROSTÁTICAMENTE A 315 PSI**

#### **Pruebas mecánicas y metalúrgicas de la unión.**

Una vez concluida satisfactoriamente la prueba hidrostática del tubo escogido de cada grupo por el fiscalizador de la obra, tubos Nos. 27, 50, 110 y 142 se procedía en presencia de este a cortar una sección de forma cuadrada de 40 cm x 40 cm.

Centrada con respecto al cordón en uno de los extremos del tubo. De este pedazo de lámina se procedía a cortar probetas para la realización de las siguientes pruebas de: Doblado, tracción, dureza y calificación metalúrgica de la unión (pruebas metalográficas).

**ENSAYO DE DOBLADO:** Este ensayo según la norma ASTM E 190 – 92 y ASTM A 370 consiste en doblar una probeta recta hasta que adquiriera la forma de “U” mediante la aplicación de una fuerza central apoyando la probeta recta en dos puntos equidistantes de la

aplicación de la fuerza, el vástago que ejerce la fuerza debe tener la forma adecuada para que la probeta adquiera el contorno deseado.

Para tuberías soldadas esta norma recomienda la realización de pruebas transversales a la cara y la raíz de la soldadura, el corte para la confección de las probetas de doblado fue realizado mediante disco abrasivo a las medidas que la norma mencionada indica, los resultados son interpretaciones de ductilidad que no se reportan numéricamente sino solamente si existen o no fallas visibles en los cordones soldados.

En la Figura 3.6 se muestra la maquina utilizada para las pruebas de doblado.



**FIGURA 3.6 EN ESTA FOTO EL AUTOR DE ESTE INFORME JUNTO A LA MAQUINA PARA ENSAYO DE DOBLADO**

## Resultados de los ensayos

### Prueba No. 1 (tubo No.27)



**FIGURA 3.7 PROBETAS DE DOBLADO TUBO NO. 27 LUEGO DEL ENSAYO**

Resultados: No se observaron grietas, ni fisuras, por lo tanto la ductilidad es aceptable

### Prueba No. 2 (tubo No.50)



**FIGURA 3.8 PROBETAS DE DOBLADO TUBO NO. 50 LUEGO DEL ENSAYO**

Resultados: No se observaron grietas, ni fisuras, por lo tanto la ductilidad es aceptable

**Prueba No. 3**

**FIGURA 3.9 PROBETAS DE DOBLADO TUBO NO. 110 LUEGO DEL ENSAYO**

Resultados: No se observaron grietas, ni fisuras, por lo tanto la ductilidad es aceptable

**Prueba No. 4**

**FIGURA 3.10 PROBETAS DE DOBLADO TUBO NO. 142 DESPUES DEL ENSAYO**

Resultados: No se observaron grietas, ni fisuras, por lo tanto la ductilidad es aceptable

**ENSAYO DE TRACCIÓN.-** Este método según la norma ASTM E 8 – 01 y ASTM A 370 consiste en agarrar una probeta de dimensiones normalizadas de ambos extremos en una maquina y someterla a una fuerza de tracción hasta lograr fracturarla, los datos que de este ensayo obtenemos son numéricos (datos o graficados por aditamentos de la maquina) y nos indican entre otras datos, el esfuerzo de fluencia, el limite elástico, la resistencia máxima, el porcentaje de ductilidad, reducción de área entre los más importantes. De la misma manera que en el ensayo de doblado las probetas fueron preparadas mediante corte por abrasivo (amoladora y limas) y en la dimensiones que indica la norma ASTM A 370 y mediante en equipo que se muestra en la figura siguiente No.3.11



**FIGURA 3.11 EL AUTOR JUNTO A LA MAQUINA WOLPERT DELA EMPRESA ANDEC DONDE SE REALIZARON LAS PRUEBAS DE TENSIÓN**

**Datos de la maquina:**

**Marca: WOLPERT    Origen: ALEMANIA    Capacidad: 500 kilo-Newton**

**Certificación: INEN**

**Resultados de las pruebas de tensión****Prueba No. 1 (tubo No. 27)**

**FIGURA 3.12    PROBETAS LUEGO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
TUBO NO. 27**

**TABLA 9**

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN  
TUBO No 27**

| # de Probeta | Espesor (mm) | Ancho (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Carga de Fluencia (Kgf.) | Carga Máxima (Kgf) | Resistencia a la fluencia (Kgf /mm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la tracción (Kgf /mm <sup>2</sup> ) | Elongación % |
|--------------|--------------|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|---|---|--------------|
| 1.1          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 4147.67                  | 4788.58            | 41.48   | 47.86   | -            |
| 1.2          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3610.20                  | 4831.17            | 36.10   | 48.31   | 25 %         |
| 1.3          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3691.32                  | 4828.13            | 36.91   | 48.28   | 30 %         |

**Prueba No. 2 (tubo No. 50)**



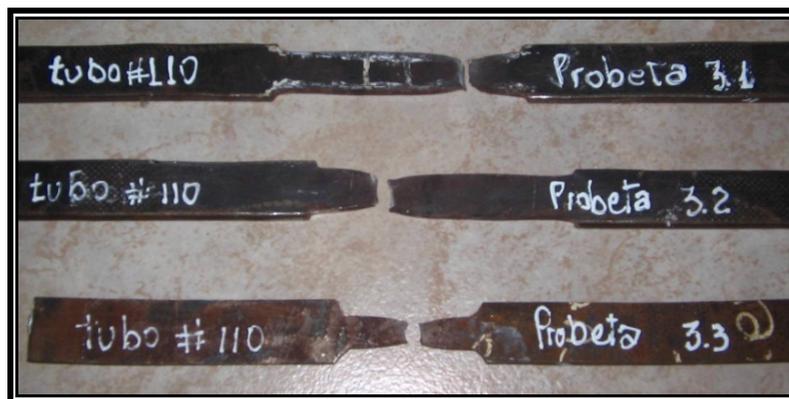
**FIGURA 3.13 PROBETAS LUEGO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN TUBO NO. 50**

**TABLA 10**

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN TUBO No 50**

| # de Probeta | Espesor (mm) | Ancho (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Carga de Fluencia (Kgf.) | Carga Máxima (Kgf) | Resistencia a la fluencia (Kgf/mm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la tracción (Kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongación % |
|--------------|--------------|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|--|--|--------------|
| 2.1          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 4036.12                  | 4474.21            | 40.36  | 44.74  | 25           |
| 2.2          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3914.43                  | 4683.11            | 39.14  | 46.83  | 25           |
| 2.3          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 4046.26                  | 4419.45            | 40.46  | 44.19  | 24           |

**Prueba No. 3 (tubo No. 110)**



**FIGURA 3.14 PROBETAS LUEGO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN TUBO NO. 110**

**TABLA 11**

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN TUBO 110**

| # de Probeta | Espesor (mm) | Ancho (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Carga de Fluencia (Kgf.) | Carga Máxima (Kgf) | Resistencia a la fluencia (Kgf/mm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la tracción (Kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongación % |
|--------------|--------------|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|--|--|--------------|
| 3.1          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3833.30                  | 4980.25            | 38.33  | 49.80  | 27           |
| 3.2          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3813.02                  | 4999.51            | 38.13  | 49.99  | 24           |
| 3.3          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3762.31                  | 5253.04            | 37.62  | 52.53  | 26           |

**Prueba No. 4 (tubo 142)**



**FIGURA 3.15 PROBETAS LUEGO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
TUBO No. 142**

**TABLA 12**

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE TRACCIÓN  
TUBO No. 142**

| # de Probeta | Espesor (mm) | Ancho (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Carga de Fluencia (Kgf.) | Carga Máxima (Kgf) | Resistencia a la fluencia (Kgf /mm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la tracción (Kgf /mm <sup>2</sup> ) | Elongación % |
|--------------|--------------|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|---|---|--------------|
| 4.1          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3387                     | 4980.25            | 33.87   | 49.80   | 27           |
| 4.2          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3455                     | 4999.51            | 34.55   | 49.99   | 24           |
| 4.3          | 8.0          | 12.5       | 100                     | 3762                     | 5253.04            | 37.62   | 52.53   | 26           |

**ENSAYOS DE DUREZA.-** El ensayo de dureza que empleamos en este trabajo es Rockwell B, este ensayo se realiza siguiendo la norma ASTM E18 – 02 y ASTM A 370 en el que la medida no se basa en la superficie de una huella sino en la diferencia de penetración de una bola de acero, se aplica una carga inicial de 10 Kg., determinándose luego la profundidad de penetración debida a una carga de 100 Kg. La medida se lee en un comparador de cuadrante. Las probetas que se emplearon para la realización del trabajo fueron las que nos sirvieron para la realización de los ensayos metalográficos ya que nos interesaba comprobar la dureza en las diferentes regiones que componen la junta soldada.



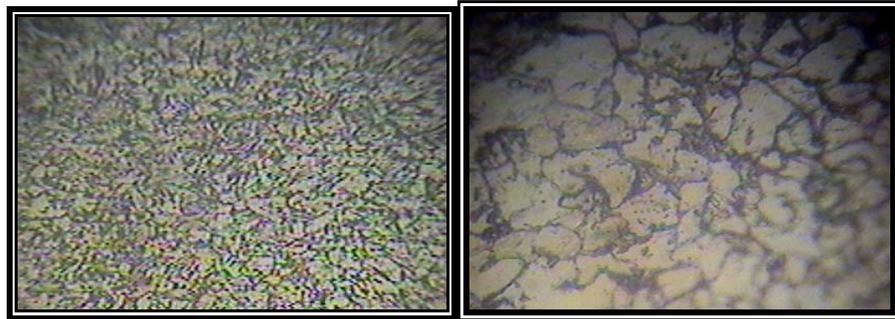
**FIGURA 3.16 PROBETA OBTENIDA DE LA UNIÓN SOLDADA PARA MACROGRAFÍA, METALOGRAFÍA, DUREZA**

**TABLA 13**  
**RESULTADOS DE LA DUREZA DE TUBOS No. 27, 50, 110, 142**

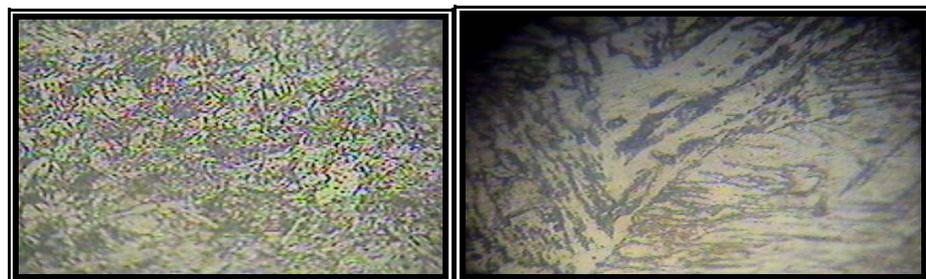
| Región                     | Rb             |                |                 |                 |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
|                            | Tubo No.<br>27 | Tubo No.<br>50 | Tubo No.<br>110 | Tubo No.<br>142 |
| Metal de aporte            | 87             | 89             | 84              | 83              |
| Zona afectada por el calor | 77             | 90             | 89              | 89              |
| Metal Base                 | 72             | 79             | 83              | 87              |

**ENSAYOS METALOGRAFICOS.-** Estos consisten en observar el material preparado adecuadamente en un microscopio para determinar su composición micro estructural.

Las probetas se preparan según la norma ASTM E 3 – 01, en nuestro caso las muestras o probetas se tomaron centradas con respecto al cordón de soldadura y cortadas mediante sierra manual cuidando no elevar la temperatura y no causar algún cambio que nos dé una observación no correcta.

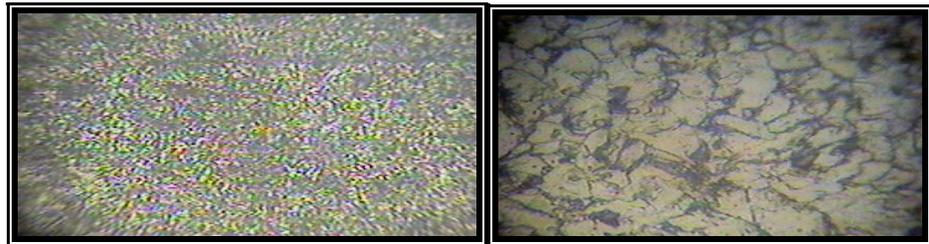
**ENSAYO No. 1 (Tubo No. 27)****Ensayo metalografico****Metal base****200 x****1000 x**

Se presenta una estructura de ferrita y perlita, típico de los aceros de bajo carbono. De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región del metal base es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

**Zona afectada por el calor****200x****1000x**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de la zona afectada por el calor es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

#### **Región metal de aporte**



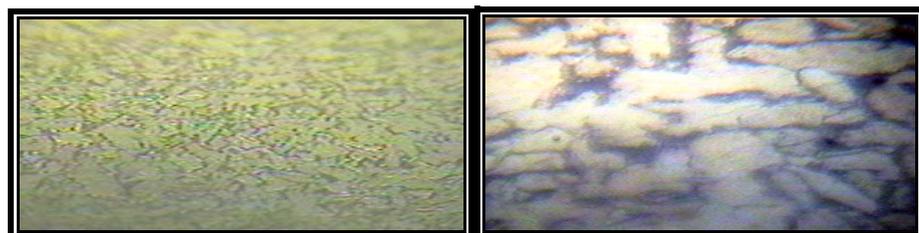
**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de metal de aporte es ferrita de solidificación rápida, no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

#### **ENSAYO No. 2 (Tubo No. 50)**

##### **Metal base**

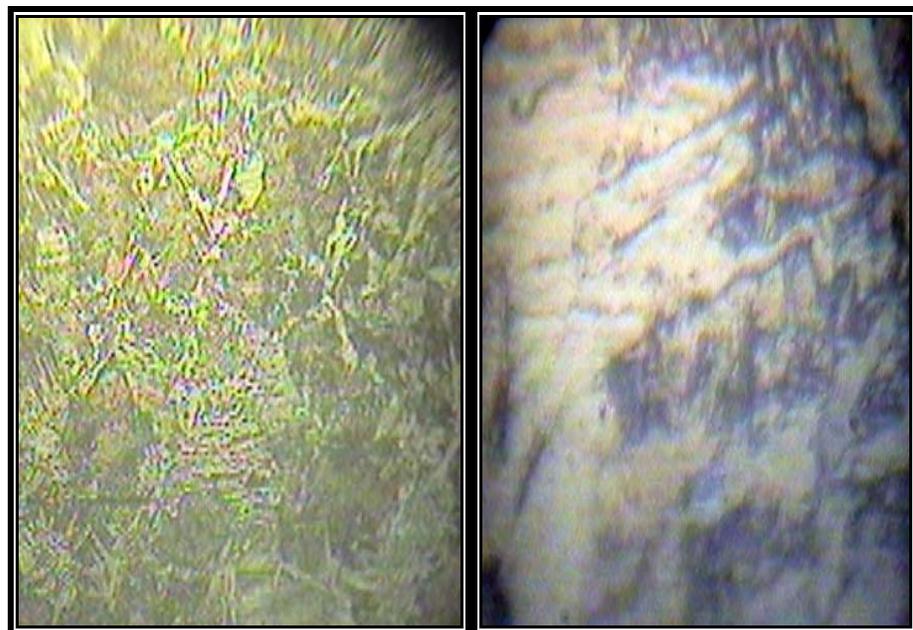


**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región del metal base es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

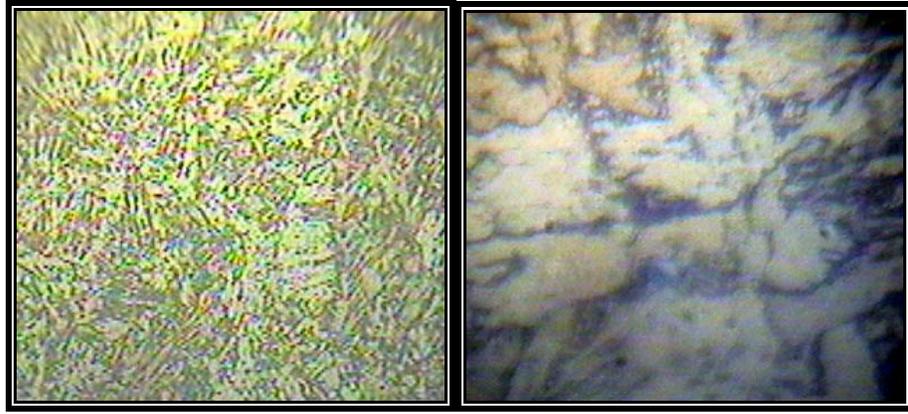
### **Zona afectada por el calor**



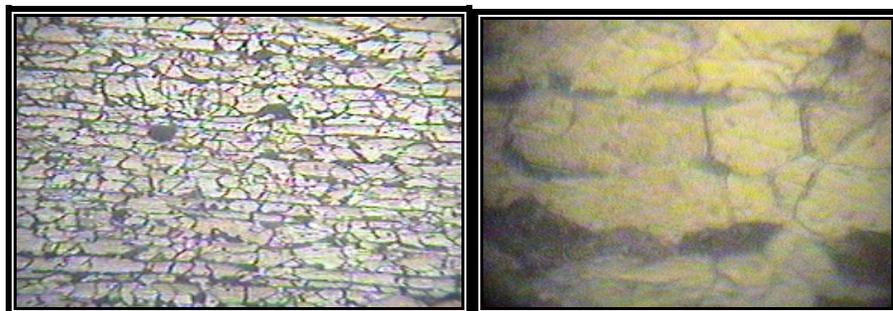
**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de la zona afectada por el calor es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

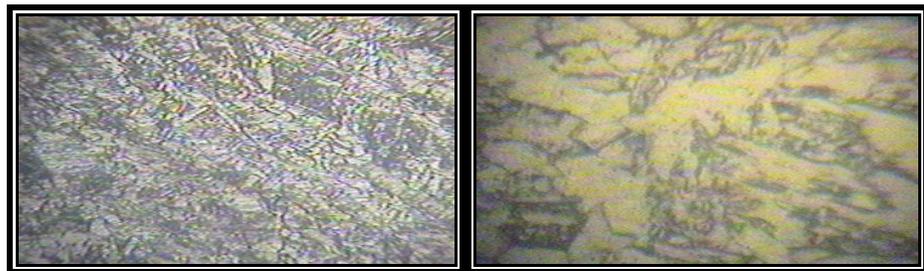
**Región metal de aporte****200 X****1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de metal de aporte es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

**ENSAYO No. 3 (Tubo No. 110)****Metal base****200 X****1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región del metal base es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

#### **Zona afectada por el calor**

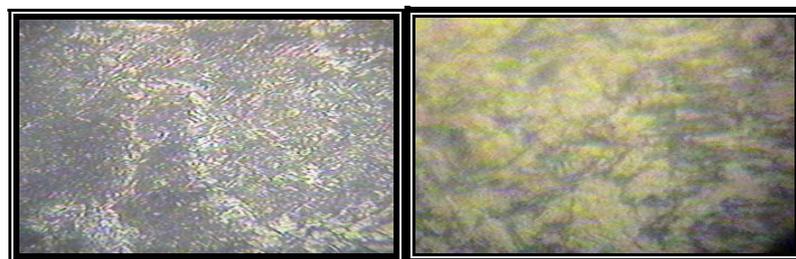


**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de la zona afectada por el calor es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

#### **Región metal de aporte**



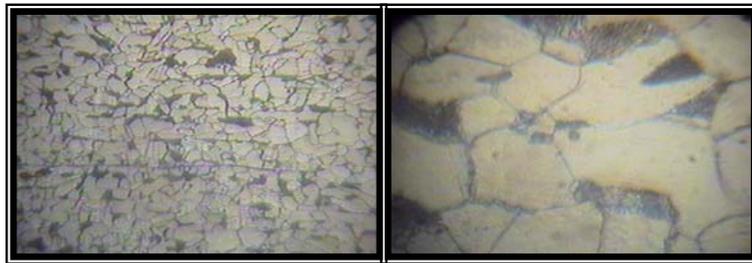
**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de la zona metal de aporte es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

#### **ENSAYO No. 4 TUBO No. 142**

##### **Metal base**

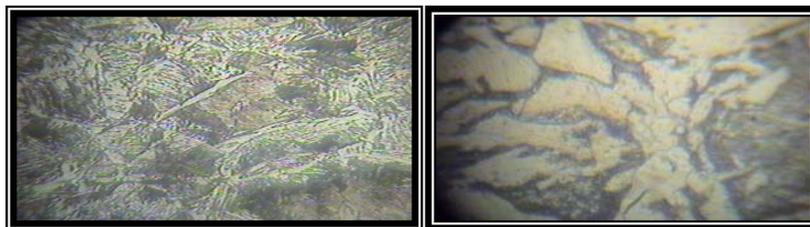


**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región del metal base es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

##### **Zona afectada por el calor**

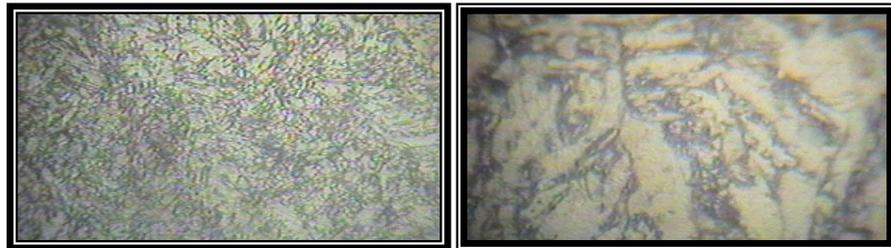


**200 X**

**1000**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de la zona afectada por el calor es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

#### **Región metal de aporte**



**200 X**

**1000 X**

De las comparaciones realizadas con patrones concluimos que la composición estructural de la muestra en la región de la zona metal de aporte es perlita más ferrita no existen estructuras que nos hagan pensar en la existencia de micro estructura de alta dureza.

### **3.4 Factor de seguridad de los segmentos**

Una de los parámetros que generan confiabilidad en este tipo de obra es el factor de seguridad del sistema, que en su definición elemental es el valor de la relación entre el esfuerzo máximo que el sistema pueda soportar sin que se produzca falla y el esfuerzo de diseño, que necesariamente siempre tiene que ser un valor superior a 1.

En esta parte se realizarán los cálculos que nos permitirán conocer la influencia de la falla presentada en la unión soldada que se describiera en el ítem 3.1 en el factor de seguridad, todos estos cálculos están basados en la información bibliográfica consultada.

### Datos de diseño

La tabla de datos de diseño a continuación mostrada es una recopilación de la información entregada por el contratante y que están de acuerdo con las exigencias de las normas aplicables.

**TABLA 14**  
**DATOS DE DISEÑO USADOS PARA CÁLCULOS TEÓRICOS DEL FACTOR DE SEGURIDAD**

| Descripción                  | Símbolo usado  | valor | unidad              |
|------------------------------|----------------|-------|---------------------|
| Presión interna de diseño    | P              | 7,27  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| Límite de fluencia ASTM A 36 | S <sub>y</sub> | 2536  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| Esfuerzo de diseño (*)       | S <sub>o</sub> | 1902  | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| Diámetro exterior            | D              | 816   | mm.                 |
| Espesor de pared             | t              | 8     | mm.                 |

(\*) 0.75 de límite de fluencia

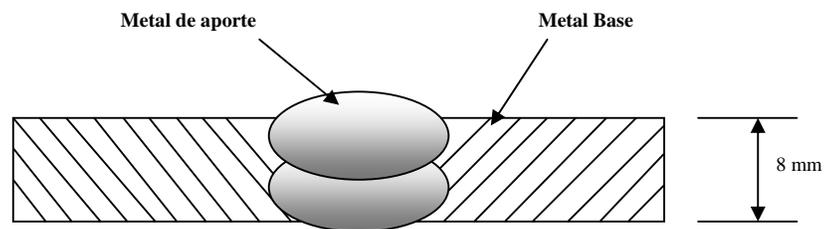
Todos estos términos están relacionados con la siguiente ecuación general (Ec. No. 1) ya enunciada en la pagina No. 26.

$$\sigma = PD/2t$$

Donde:

$\sigma$  = en este caso al esfuerzo que soporta el material como consecuencia de la presión interna de diseño, el resto de términos de acuerdo a la descripción de la tabla anterior.

Esta ecuación es aplicable a la unión soldada sin falla que se representa de la siguiente manera:



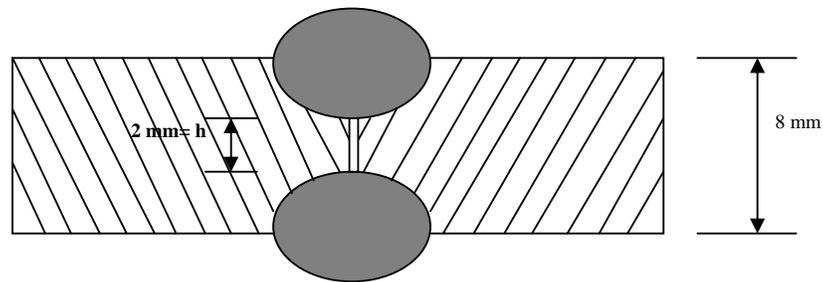
**FIGURA 3.17 ESQUEMA DE LA UNION SOLDADA SIN FALLA**

Bajo este esquema y aplicando la ecuación anterior se determina el esfuerzo que producirá la presión interna de diseño, reemplazando datos se obtiene el valor del esfuerzo que es: **370 Kgf/cm<sup>2</sup>**

Con este valor calculamos el factor de seguridad de la siguiente manera:

$$F_s \frac{E_d}{E_p} = \frac{1902 \text{ Kgf/cm}^2}{370 \text{ Kgf/cm}^2} = 5.14$$

Ahora bien, según la radiografía tomada al sector con falla (falta de penetración) presenta la siguiente geometría:



**FIGURA 3.18 ESQUEMA DE SECTOR RADIOGRAFIADO CON FALTA DE PENETRACIÓN**

Aplicando la misma ecuación anterior el esfuerzo que se producirá en la unión soldada modelizada bajo este esquema que se presenta en la figura 3.18 y sometido a presión interna de diseño ( $7.27 \text{ kgf/cm}^2$ ) es el siguiente:

$$493 \text{ Kgf/cm}^2$$

Entonces el factor de seguridad en el sector con fisura lo encontramos de la siguiente manera:

$$F_s \frac{E_d}{E_p} = \frac{1902 \text{ Kgf/cm}^2}{493 \text{ Kgf/cm}^2} = 3.86$$

**TABLA 15**

**COMPARACION DE ESFUERZOS EN LAS UNIONES SOLDADAS CONSIDERANDO PRESIÓN INTERNA DE 7.27 Kgf/cm<sup>2</sup> (100 psi)**

| <b>Esfuerzo en sector sin falla</b><br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>(lbf/pulg <sup>2</sup> ) | <b>Esfuerzo en sector con falla</b><br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>(lbf/pulg <sup>2</sup> ) | <b>Factor de seguridad teórico</b><br><b>Según normas</b> | <b>Factor de seguridad teórico</b><br><b>sector con falla</b> | <b>Esfuerzo teórico de diseño</b><br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>(lbf/pulg <sup>2</sup> ) |
|--|--|---|---|--|
| 370 (5251)   | 493(6997)  | 5.14  | 3.86  | 1902 (27000)   |

Pero el factor de seguridad real está dado por los resultados de los ensayos curvas de tracción de las uniones soldadas y con fallas que determinan que el valor del esfuerzo de fluencia es igual a 3610 Kgf/cm<sup>2</sup> (el menor de todos los tomados físicamente). Realizando las

mismas operaciones anteriores pero con el esfuerzo de fluencia real, calculamos el factor de seguridad real en el sector con falla el cual es igual a **5.49** que es mayor al factor de seguridad teórico calculado según las normas.

**TABLA 16**

**COMPARACION DE FACTORES DE SEGURIDAD TEORICO Y REAL EN LAS UNIONES SOLDADAS CON FALLA CONSIDERANDO PRESIÓN INTERNA DE 7.27 KGF/CM<sup>2</sup> (100PSI)**

| <b>Esfuerzo Teórico de diseño según normas</b><br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>(lbf/pulg <sup>2</sup> ) | <b>Esfuerzo real de diseño</b><br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>(lbf/pulg <sup>2</sup> ) | <b>Esfuerzo en sector con falla</b><br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>(lbf/pulg <sup>2</sup> ) | <b>Factor de seguridad teórico Según normas</b> | <b>Factor de seguridad teórico sector con falla</b> | <b>Factor de seguridad real en sector con falla</b> |
|---|---|--|---|---|---|
| 1902<br>(27000)   | 2707(38421)   | 493(6997)  | <b>5.14</b>                                     | 3.86  | <b>5.49</b>   |

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Después de realizadas las inspecciones hidrostáticas, la evaluación metalúrgica de la unión soldada y establecido, por medio de cálculos, el factor de seguridad activo a los elementos soldados se tienen las siguientes conclusiones.

- Todas las pruebas realizadas certifican que la calidad del proceso de soldadura usado para la obra cumplen las exigencias de las normas AWWA.
- Las fallas puntualizadas por radiografía industrial, en lo que a la obra respecta, no necesariamente deben de considerarse como elemento de rechazo, solo demuestran que es defecto admisible es en tipo de obra, tal como lo indica la norma AWWA.

- Las pruebas hidrostáticas, que fueron realizadas a la presión de 300 psi acordadas con la fiscalización, dieron sustento efectivo a la resistencia de las uniones soldadas, aunque también se hicieron pruebas positivas a 400 psi.
  
- Las uniones no tienen ninguna inconformidad metalúrgica en relación a fases duras producidas por enfriamiento rápido del material.

### **RECOMENDACIONES**

Para mejorar el proceso de fabricación de segmentos de tubo se debe tener presente las siguientes recomendaciones:

1. Dar entrenamiento al personal de soldadores y proveerles de una calificación a través de la ESPOL.
  
2. Reemplazar los procesos de soldadura artesanal mediante electrodo revestido por procesos semiautomáticos o automáticos.
  
3. Hacer uso de laboratorios metalúrgicos para verificación de las propiedades del material así como de las uniones soldadas tal como se hizo en el presente caso.



## APENDICE A

### TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES DE DIVERSOS MATERIALES USADOS EN TUBERÍAS

| MATERIAL<br>CARACT.<br>MECÁNICA                     | ACERO<br>AL<br>CARBONO | FUNDICIÓN<br>MALEABLE | COBRE | PVC DURO | PVC<br>TERMORRE<br>SISTENTE |
|---|------------------------|-----------------------|-------|----------|-----------------------------|
| Resistencia a la tracción<br>[Kgf/cm <sup>2</sup> ] | 5000                   | 5000                  | 2470  | 530      | 550                         |
| Alargamiento [%]                                    | 22                     | 6                     | 53    | 100      | 30                          |
| Dureza HB   | 140                    | 210                   | 64    |          |                             |

| EJEMPLO COMPARATIVO DE<br>ELEMENTOS APROXIMADAMENTE<br>EQUIVALENTES |                               | PRESION<br>MÁXIMA<br>ADMISIBLE | OBSEVACIONES   |
|---|-------------------------------|--------------------------------|--|
| CODIGO DE ACERO<br>AL CARBONO DE<br>¾ DE DIAMETRO                   | UNE 19-040<br>Serie normal    | 258 bar                        | Se ha utilizado para el cálculo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El mismo coeficiente de seguridad en todos los casos</li> <li>• La resistencia a la tracción reflejada en la tabla anterior</li> </ul> |
|   | UNE 19-041<br>Serie reforzada | 336 bar                        |  |
| Codo de fundición maleable de ¾ (fig.90)                            |                               | 330 bar                        |  |
| Tubo de cobre de 20 x 22  |                               | 49,4 bar                       |  |
| Tubo de PVC duro de 21 x 25   |                               | 20 bar                         |  |
| Tubo de PVC termorresistente de 21 x 25                             |                               | 21 bar                         |  |

| MATERIAL<br>PROP. FÍSICA   | ACERO Y<br>FUNDICIÓN | COBRE       | PVC        |
|--|----------------------|-------------|------------|
| Coeficiente de dilatación<br>×10 <sup>-6</sup> (°C <sup>-1</sup> ) | 11,6                 | 17,6 (+52%) | 70 (+503%) |
| Punto de fusión (°C)   | 1540                 | 1078        | ≅120       |

Fuente: Asociación de fabricantes de tubos y accesorios (España)

**APENDICE B**

**INFORME TECNICO FINAL DE ING. WIESNER PARA GUSTAVO MORENO**

## APENDICE No. C

### GRADOS DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIES METÁLICAS

#### GRADOS DE LIMPIEZA: NORMAS ISO 8501-1 – SIS 055900

Los grados de limpieza a obtener vienen definidos por una serie de normas, la mas divulgada de las cuales es la norma SIS 055900 del SWEDISH STANDARDS INSTITUTION, que ha sido recientemente transformada en norma ISO 8501-1: 1998, en las que los grados de preparación están en función del estado inicial del acero a pintar. Estas normas completan solamente acero más o menos envejecido, pero que nunca ha sido pintado.

Estados iniciales definidos por ambas normas:

- Superficie de acero completamente recubierta con cascarilla de laminación o calamina y con trazas de óxido. (El grado A es normalmente el que presenta el acero poco tiempo después de su laminación en caliente).
- Superficie de acero que ha iniciado su corrosión y de la que ha empezado a desprenderse la cascarilla de laminación. (El grado B es normalmente el estado de una superficie de hacer laminado en caliente después de haber permanecido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva, durante 2 ó 3 meses).
- Superficies de acero de la que la corrosión ha hecho saltar la totalidad de la cascarilla de laminación, pero que todavía no presenta picaduras detectables a simple vista. (El grado C es normalmente el estado de una superficie de acero que ha sido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva, durante 1 año, aproximadamente).
- Superficie de acero de la que se ha desprendido la totalidad de la cascarilla de laminación y en la que se observan picaduras a simple vista. (El grado D corresponde al estado de una superficie de acero después de su exposición a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva durante unos 3 años).

#### GRADOS DE PREPARACIÓN

A partir de cada uno de los grados iniciales se definen varios grados de preparación, denominados con las siglas St, Sa o Fl.

St = rascado, cepillado, picado, etc., por medios manuales o mecánicos

Sa = chorreado abrasivo

Fl = limpieza a la llama (flameado). (Sólo incluido en la ISO 8501-1).

En lo sucesivo sólo se considerarán los grados St y Sa, ya que el flameado se utiliza muy poco en la práctica.

| Norma sueca                         | Descripción  | Equivalencia con otras normas |  |
|-------------------------------------|--|-------------------------------|--|
| ISO 8501-1<br>SIS<br>055900<br>Sa3  | Eliminar la totalidad del óxido visible, cascarilla de laminación, pintura vieja y cualquier materia extraña. Limpieza por chorreado hasta <b>metal blanco</b> . El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo necesario para eliminar <b>la totalidad</b> de la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, la superficie se limpia con un aspirador aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio, para eliminar los residuos de polvo de abrasivo. Debe entonces quedar con un color metálico uniforme.  | SSPC-SP-5<br>BS 4232:         | Chorreado a metal blanco<br>Primera calidad      |
| ISO 8501-1<br>SIS<br>055900<br>Sa2½ | Chorreado abrasivo hasta <b>metal casi blanco</b> , a fin de conseguir que por lo menos el 95% de cada porción de la superficie total quede libre de cualquier residuo visible. Chorreado muy cuidadoso. El chorro se mantiene sobre la superficie el tiempo necesario para asegurar que la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas son eliminados de tal forma que cualquier residuo aparezca sólo como ligeras sombras o manchas en la superficie. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio | SSPC-SP-10<br>BS 4232:        | Chorreado a metal casi blanco<br>Segunda calidad |
| ISO 8501-1<br>SIS<br>055900<br>Sa2  | Chorreado hasta que al menos los 2/3 de cualquier porción de la superficie total estén libres de todo residuo visible. Chorreado cuidadoso. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo suficiente para eliminar la casi totalidad de cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio. La superficie debe quedar de color grisáceo  | SSPC-SP-6<br>BS 4232:         | Chorreado comercial<br>Tercera calidad           |
| ISO 8501-1<br>SIS<br>055900<br>St3  | Rascado con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre, muy cuidadoso. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar un pronunciado aspecto metálico   | SSPC-SP-3<br>BS 4232:         | Limpieza mecánica<br>No tiene equivalente        |
| ISO 8501-1<br>SIS                   | Rascado cuidadoso con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre. El rascado y cepillado deben realizarse en   | SSPC-SP-2<br>BS 4232:         | Limpieza manual<br>No tiene                      |

Fuente: Especificaciones PETROECUADOR

**APENDICE D**

**INFORME TECNICO ING. WIESNER PARA KRUGER**

## APENDICE E

# RECOPIACIÓN DE NORMAS Y ESTÁNDARES USADOS EN EL PRESENTE INFORME



Designation: A 36/A 36M – 01

### Standard Specification for Carbon Structural Steel<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 This specification<sup>2</sup> covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 For Group 4 and 5 wide flange shapes for use in tension, it is recommended that the purchaser consider specifying supplementary requirements, such as fine austenitic grain size and Charpy V-notch impact testing.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.6 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.7 For structural products cut from coiled product, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 *ASTM Standards:*

A 6/A 6M Specification for General Requirements for

Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling<sup>3</sup>

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application<sup>4</sup>

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength<sup>5</sup>

A 325 Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints<sup>5</sup>

A 325M Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]<sup>5</sup>

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes<sup>6</sup>

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing<sup>6</sup>

A 502 Specification for Steel Structural Rivets<sup>5</sup>

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts<sup>5</sup>

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]<sup>5</sup>

A 570/A 570M Specification for Steel, Sheet and Strip, Carbon, Hot-Rolled, Structural Quality<sup>7</sup>

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use<sup>8</sup>

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners<sup>5</sup>

#### 3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

#### 4. General Requirements for Delivery

4.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved Sept. 10, 2001. Published September 2001. Originally published as A 36 – 60 T. Last previous edition A 36/A 36M – 00a.

<sup>2</sup> For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.08.

<sup>6</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.01.

<sup>7</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

<sup>8</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.05.

## A 36/A 36M

**TABLE 1 Appurtenant Material Specifications**

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

| Material                    | ASTM Designation                    |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Steel rivets                | A 502, Grade 1                      |
| Bolts                       | A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6 |
| High-strength bolts         | A 325 or A 325M                     |
| Steel nuts                  | A 563 or A 563M                     |
| Cast steel                  | A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]   |
| Forgings (carbon steel)     | A 668, Class D                      |
| Hot-rolled sheets and strip | A 570/A 570M, Grade 36              |
| Cold-formed tubing          | A 500, Grade B                      |
| Hot-formed tubing           | A 501                               |
| Anchor bolts                | F 1554                              |

4.1.1 Coiled product is excluded from qualification to this specification until decoiled, leveled, and cut to length. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coiled product and are furnished without heat treatment. The processor decoils, levels, cuts to length, and marks the product. The processor is responsible for performing and certifying all tests, examinations, repairs, inspections, or operations not intended to affect the properties of the material. For structural products produced from coils, two test results shall be reported for each qualifying coil. See Note 1.

NOTE 1—Additional requirements regarding structural products from coil are described in Specification A 6/A 6M.

### 5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates

for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

### 6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over ½ in. [12.5 mm] in thickness and shapes other than Group 1 shall be semi-killed or killed.

### 7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

### 8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.<sup>2</sup> [645 mm<sup>2</sup>] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

**TABLE 2 Chemical Requirements**

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

| Product                                       | Shapes <sup>A</sup> | Plates <sup>B</sup>   |  |   |   |                 | Bars                  |  |                                   |                 |
|---|---------------------|-----------------------|--|---|---|-----------------|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------|
|   |                     | To ¾<br>[20],<br>incl | Over ¾<br>to 1½<br>[20 to 40],<br>incl | Over 1½<br>to 2½<br>[40 to 65],<br>incl | Over 2½<br>to 4<br>[65 to 100],<br>incl | Over 4<br>[100] | To ¾<br>[20],<br>incl | Over ¾<br>to 1½<br>[20 to 40],<br>incl | Over 1½<br>to 4<br>[100],<br>incl | Over 4<br>[100] |
| Thickness, in. [mm]                           | All                 |                       |  |   |   |                 |                       |  |                                   |                 |
| Carbon, max, %                                | 0.26                | 0.25                  | 0.25                                   | 0.26                                    | 0.27                                    | 0.29            | 0.26                  | 0.27                                   | 0.28                              | 0.29            |
| Manganese, %                                  | ...                 | ...                   | 0.80–1.20                              | 0.80–1.20                               | 0.85–1.20                               | 0.85–1.20       | ...                   | 0.60–0.90                              | 0.60–0.90                         | 0.60–0.90       |
| Phosphorus, max, %                            | 0.04                | 0.04                  | 0.04                                   | 0.04                                    | 0.04                                    | 0.04            | 0.04                  | 0.04                                   | 0.04                              | 0.04            |
| Sulfur, max, %                                | 0.05                | 0.05                  | 0.05                                   | 0.05                                    | 0.05                                    | 0.05            | 0.05                  | 0.05                                   | 0.05                              | 0.05            |
| Silicon, %                                    | 0.40 max            | 0.40 max              | 0.40 max                               | 0.15–0.40                               | 0.15–0.40                               | 0.15–0.40       | 0.40 max              | 0.40 max                               | 0.40 max                          | 0.40 max        |
| Copper, min, % when copper steel is specified | 0.20                | 0.20                  | 0.20                                   | 0.20                                    | 0.20                                    | 0.20            | 0.20                  | 0.20                                   | 0.20                              | 0.20            |

<sup>A</sup> Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

<sup>B</sup> For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

**TABLE 3 Tensile Requirements<sup>A</sup>**

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Plates, Shapes, <sup>B</sup> and Bars: |                       |
| Tensile strength, ksi [MPa]            | 58–80 [400–550]       |
| Yield point, min, ksi [MPa]            | 36 [250] <sup>C</sup> |
| Plates and Bars <sup>D,E</sup> :       |                       |
| Elongation in 8 in. [200 mm], min, %   | 20                    |
| Elongation in 2 in. [50 mm], min, %    | 23                    |
| Shapes:                                |                       |
| Elongation in 8 in. [200 mm], min, %   | 20                    |
| Elongation in 2 in. [50 mm], min, %    | 21 <sup>B</sup>       |

<sup>A</sup> See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

<sup>B</sup> For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

<sup>C</sup> Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

<sup>D</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.

<sup>E</sup> For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

## 9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

## SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes:  
Alternate Core Location

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

### S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*