

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PACHUCA

**“OPTIMIZACIÓN DE TUBERÍA DE CONCRETO
PRETENSADO CON CILINDRO DE ACERO DIÁMETRO
1220 mm (48”), A 3.75 MPa (37.5 Kg/cm²)”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERA MECÁNICA
PRESENTA

ING. FRANCISCO JAVIER VARGAS LEDEZMA

DIRECTOR:

DR. LUIS MANUEL PALACIOS PINEDA

CO-DIRECTORES:

DR. ERIKA OSIRIS AVILA DÁVILA

DR. MARIO EMIGDIO RODRÍGUEZ CASTILLO

104 Páginas

Pachuca de Soto, Hidalgo Septiembre de 2017.



Contenido

Introducción	11
Justificación y delimitación de la investigación	13
Planteamiento del problema.....	13
Objetivo General	13
Objetivo Particular.....	14
Hipótesis	14
Capítulo 1 Marco Teórico	15
1.1 Puntos importantes a tomar en cuenta para la selección de tubería	15
Caudal y diámetro	16
Presión interna y cargas externas	16
Resistencia a la corrosión.....	16
Estanqueidad	17
Facilidad de mantenimiento	17
Vida útil.....	18
Costos	18
1.2 Características de tuberías utilizadas para acueductos.....	19
Tuberías de fibrocemento	19
Tubería de acero	20
Tuberías de hierro fundido (HF).....	21
Tuberías de hierro dúctil (HD).....	23
Tubería de concreto	24

1.3	Antecedentes de la tubería de concreto pretensada cilindro de acero. ...	26
	Acero para cilindros y accesorios.	28
	Bobina y placas de acero.	28
	Barras de acero.	28
	Propiedades físicas.	29
	Tolerancia del espesor.	29
	Alambre pretensado.	30
	Barras.	30
	Acero para los anillos de sujeción (extremidades espiga y campana).	31
	Tiras y láminas de acero.	31
	Placas de acero, barras y secciones especiales.	31
1.4	Caucho para juntas.	32
	Fuerza tensora.	32
	Alargamiento máximo.	32
	Densidad.	32
	Taza de compresión.	33
	La fuerza tensora después del curado.	33
	Dureza.	33
1.5	Requisitos generales para el diseño de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero.	34
	Tamaños.	34
	Longitud mínima de tendido.	34
	Exceso de redondez y extremos descuadrados.	34

Tolerancias de diámetro.	34
Tolerancias del núcleo y del revestido.	35
1.6 Generalidades del diseño del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero.	35
Refuerzo.	35
Anillos de sujeción (extremidades espiga y campana).	36
Dimensiones y tolerancias (extremidades espiga y campana).	37
Juntas de hule.	38
Capítulo 2 Análisis estructural de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero.	39
2.1 Método de fabricación de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero.	39
Fabricación de cilindros de acero.	39
2.2 Concreto para el núcleo del tubo.	46
Medición de los materiales.	46
Mezclado.	47
Cilindros de prueba de concreto.	47
Resistencia del concreto.	48
Colocación del concreto por el método de colado vertical.	49
2.3 Curado del núcleo.	50
Curado acelerado.	50
Curado del agua.	52
2.4 Colocación del alambre de presfuerzo (pretensado).	53
Pasta de cemento Pórtland.	54

2.5	Revestimiento del tubo.....	55
	Curado del revestimiento.....	57
	Grietas en el tubo.	57
	Reparación del concreto o mortero.....	58
2.6	Acabado y marcado de tubería.	59
2.7	Análisis del tubo de concreto con cilindro de acero.	60
	Análisis del concreto interior del núcleo.....	65
	Análisis del cilindro.	68
	Análisis del concreto intermedio del tubo.....	71
	Análisis del acero de presfuerzo del tubo.	73
	Análisis del concreto de revestimiento del tubo.	74
Capítulo 3	Análisis de enchufe de tubería de concreto.....	76
3.1	Análisis de enchufe del tubo de concreto sin junta hermética (oring).	76
Capítulo 4	Propuestas de diseño de tubería concreto.....	90
4.1	Propuestas de diseño de tubería de concreto y sus análisis con diferentes pasos de acero de presfuerzo.....	90
4.2	Análisis sin acero de presfuerzo.....	90
4.3	Análisis con paso de acero de presfuerzo de 12 mm	94
4.4	Análisis con paso de acero de presfuerzo 24 mm	95
4.5	Análisis con paso de acero de presfuerzo 36 mm	100
4.6	Análisis con paso de acero de presfuerzo de 48 mm	105
4.7	Conclusiones.	112
4.8	Referencias.....	113

Contenido de Figuras

Figura 1. 1 Tubería de Fibrocemento tomada de la empresa Mexalit – Eureka....	20
Figura 1. 2 Tubería de Acero en las mesas de trabajo de la empresa Tumex.....	21
Figura 1. 3 Tubería de Hierro Fundido (HF) tomada en el parque de almacenamiento de la empresa Tubería Moreno.....	22
Figura 1. 4 Tubería Hierro Dúctil (HD) tomada en el parque de almacenamiento de la empresa Tubería Moreno.....	23
Figura 1. 5 Tubería de Concreto Presforzado con Alma de Acero en patio de almacenamiento de la empresa Comecop S.A de C.V.	25
Figura 1. 6 Tubería de Concreto Presforzado con Alma de Acero tomada de la empresa Comecop S.A de C.V.....	26
Figura 2. 1 Aplicación de soldadura a extremidad espiga en el taller de anillos y cilindros de la Empresa COMECOP S.A. de C.V.....	42
Figura 2. 2 Conformado en frio de extremidad campana por rolado, foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la planta Comecop S.A de C.V.	42
Figura 2. 3 Método de expansión de extremidades espiga y campana foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la planta Comecop S.A de C.V.	43
Figura 2. 4 Armado de cilindro con extremidades espiga y campana foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la planta Comecop S.A de C.V.	43
Figura 2. 5 Prueba hidrostática del cilindro foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la planta Comecop S.A de C.V.	45
Figura 2. 6 Llenado del molde mediante el colado vertical del núcleo de concreto en patio de la empresa Comecop S.A. de C.V.....	50
Figura 2. 7 Curado del núcleo de concreto en patio de almacenamiento en la empresa Comecop S.A de C.V.....	52
Figura 2. 8 Colocación de alambre de presfuerzo al núcleo de concreto en la máquina de zunchado de la empresa Comecop S.A de C.V.	54
Figura 2. 9 Colocación de revestimiento al tubo para recubrir acero de presfuerzo en máquina de la empresa Comecop S.A de C.V.....	56
Figura 2. 10 Esquema de extremidades espiga y campana de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero para el análisis de elemento finito.	61
Figura 2. 11 Sistema de malla en la extremidad espiga, cuerpo del tubo y extremidad campana para realizar el estudio de la tubería.....	61

Figura 2. 12 Aplicación de presión de prueba en la parte interior del tubo.	62
Figura 2. 13 Análisis de tubo a presión de prueba de 3. 75 MPa (536 psi).	62
Figura 2. 14 Deformación total en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero sin enchufe.	63
Figura 2. 15 Deformación máxima en extremidad espiga en tubo sin enchufe.	64
Figura 2. 16 Comportamiento de esfuerzos de Von Mises a lo largo del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero sin enchufe.	64
Figura 2. 17 Área del esfuerzo máximo de Von Mises en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero sin enchufe.	65
Figura 2. 18 Deformación total en el concreto interior del tubo sin enchufe.	66
Figura 2. 19 Punto en donde se encuentra la deformación máxima esto en la extremidad espiga.	66
Figura 2. 20 Esfuerzo de Von Mises máximo en concreto interior del tubo sin enchufe.	67
Figura 2. 21 Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto interior del tubo parte espiga sin enchufe.	68
Figura 2. 22 Resultado del análisis en el cilindro tanto deformación total como esfuerzo máximo de Von Mises sin enchufe del tubo.	69
Figura 2. 23 Esfuerzo y deformación máximas en extremidad espiga del tubo sin enchufe.	70
Figura 2. 24 Esfuerzo y deformación máximas en extremidad campana del tubo sin enchufe.	71
Figura 2. 25 Esfuerzo y deformación máximas en refuerzo de extremidad campana del tubo sin enchufe.	71
Figura 2. 26 Esfuerzo de Von Mises en concreto intermedio del tubo sin enchufe.	72
Figura 2. 27 Área de Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto intermedio del tubo sin enchufe.	72
Figura 2. 28 Esfuerzo máximo de Von Mises en acero de presfuerzo en tubo sin enchufe.	73
Figura 2. 29 Deformación máxima en acero de presfuerzo en el tubo sin enchufe.	74
Figura 2. 30 Esfuerzo de Von Mises máximo en concreto de revestimiento del tubo sin enchufe.	74
Figura 2. 31 Deformación máxima en concreto de revestimiento del tubo sin enchufe.	75

Figura 3. 1 Enchufe de tubería de concreto pretensado con junta hermética (oring) tomada en el laboratorio de la empresa Comecop S.A de C.V.	76
Figura 3. 2 Diseño de tubo corto sin junta hermética (oring) para realizar el analisis de acuerdo a la presion de prueba.	77
Figura 3. 3 Tubo enchufado sin junta hermética (oring).	78
Figura 3. 4 Deformación máxima total en enchufe del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero.....	78
Figura 3. 5 Esfuerzo máximo de Von Mises en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero.	79
Figura 3. 6 Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto interior con tubo enchufado.....	81
Figura 3. 7 Esfuerzo máximo de Von Mises en cilindro de acero del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero, enchufado.	82
Figura 3. 8 Esfuerzo máximo en concreto interior en el enchufe de la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero.	83
Figura 3. 9 Esfuerzo máximo en extremidad espiga en enchufe de tubo de concreto pretensado con cilindro de acero.	84
Figura 3. 10 Esfuerzo máximo en perfil campana del tubo enchufado de concreto pretensado con cilindro de acero.	86
Figura 3. 11 Esfuerzo máximo en perfil campana del tubo enchufado de concreto pretensado con cilindro de acero.	87
Figura 3. 12 Esfuerzo máximo de Von Mises en el acero de presfuerzo del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero enchufado.	88
Figura 3. 13 Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto de revestimiento de tubo de concreto pretensado con cilindro de acero enchufado.	89
Figura 4. 1 Deformación total del análisis del núcleo del tubo de concreto pretensado sin cilindro de acero sin zunchado.	91
Figura 4. 2 Esfuerzo máximo de Von Mises en el núcleo del tubo de concreto pretensado sin cilindro de acero sin zunchado.	91
Figura 4. 3 Deformación Total en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero sin zunchado	92
Figura 4. 4 Esfuerzos máximos de Von Mises en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero sin acero de presfuerzo.	93

Figura 4. 5 Deformación total en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero de acuerdo a los valores de la propuesta de 12 mm.	94
Figura 4. 6 Esfuerzo máximo de Von Mises del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 12 mm.	95
Figura 4. 7 Deformación total en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 24 mm.	96
Figura 4. 8 Esfuerzo máximo de Von Mises del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 24 mm.	97
Figura 4. 9 Deformación total en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 24 mm.	98
Figura 4. 10 Esfuerzo máximo de Von Mises en enchufe de tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre 24 mm.	99
Figura 4. 11 Deformación total en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 36 mm.	101
Figura 4. 12 Esfuerzo máximo de Von Mises en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 36 mm.	102
Figura 4. 13 Deformación total en el enchufe de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre de 36 mm.	104
Figura 4. 14 Esfuerzo máximo de Von Mises en el enchufe de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de 36 mm.	105
Figura 4. 15 Deformación total de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.	106
Figura 4. 16 Esfuerzo máximo de Von Mises del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.	108
Figura 4. 17 Deformación total en el enchufe de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.	109
Figura 4. 18 Esfuerzo máximo de Von Mises en la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.	110
Grafica 1 Resultados obtenidos del análisis de la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero con diferentes pasos de alambre de pretensado.....	100

Resumen

El presente trabajo muestra el comportamiento estructural en los diferentes materiales que conforman la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero en un diámetro de 1220 mm (48") con una longitud de 4880 mm (192"). Para el análisis se consideraron todas las condiciones de operación a las que se somete el tubo resolviendo de acuerdo a la norma aplicable para dicho producto y comparando estos resultados con la construcción de un modelo por elemento finito. Se obtuvieron los esfuerzos máximos y mínimos en los componentes de acoplamiento como son las extremidades espiga y campana. Con los valores obtenidos se demostró que la tubería en estudio cumple con la Norma ANSI/AWWA C301 sin ningún problema mecánico en el diseño.

Abstract

The present paper shows the structural behavior in the different materials that make up the prestressed concrete pipe with the steel cylinder in a diameter of 1220 mm (48 ") with a length of 4880 mm (192"). For the analysis, it was considered all the operating conditions to which the tube is subjected by solving according to the applicable norm for said product and comparing these results with the construction of a finite element model. Maximum and minimum stresses were obtained on the coupling components such as the pin and bell tips. With the values obtained it was demonstrated that the pipeline under study complies with the ANSI / AWWA C301 Standard without any mechanical problem in the design.

Introducción

Antecedentes

El empleo de las tuberías de concreto armado para conducciones a presión, data de fines del siglo pasado. Las primeras instalaciones hechas en París fueron en el año 1890, las primeras realizaciones americanas son del año 1909, en aquella época no era posible pasar de presiones bajas para obtener impermeabilidades perfectas. Para presiones mayores era preciso seguir utilizando tuberías de fundición o tuberías de acero. Las tuberías de fundición, con el enorme inconveniente de su fragilidad. Las tuberías de acero, con el inconveniente de su falta de resistencia contra la acción agresiva del terreno y de su deformabilidad [1].

La técnica de la fabricación de las tuberías de concreto armado ha sufrido un considerable adelanto en los últimos años. Las grandes necesidades que todos los países han sentido para dotar adecuadamente sus instalaciones hidráulicas de riego, de abastecimiento de aguas de hidroeléctricas han hecho precisa la construcción de grandes conducciones y el estudio de nuevas realizaciones que permita la solución económica de los problemas planteados [1].

La coincidencia con la puesta en práctica de la nueva técnica del concreto pretensado ha permitido la realización industrial de tuberías que, estando mecánicamente concebidas en una forma totalmente distinta a las ahora proyectadas, representan, en calidad y economía, un considerable avance que ha hecho posible la ejecución de obras hasta ahora imposibles [1].

Los mexicanos sabemos que el acceso al agua es premisa para combatir la pobreza y promover el desarrollo integral de las familias y la nación por ello es necesario asegurar su acceso a todos los seres humanos.

Es difícil estimar la cantidad de agua que se necesita para mantener estándares de vida aceptables o mínimos. Además, las diferentes fuentes de información

emplean diferentes cifras para el consumo total de agua y para el uso del agua por sector de la economía [2].

Utilizamos cantidades grandes de agua cada día, pues el agua responde a muchos propósitos diferentes. Su importancia aumentó a medida que las sociedades progresaron y las ciudades crecieron. El hombre, en su vida diaria, más allá de las necesidades de consumo, cada vez utiliza más agua en forma directa para otras actividades que tienen que ver con la higiene personal y doméstica. Utilizamos el agua para beber, para lavar los platos, para tomar una ducha, para tirar de la cisterna en el servicio, para cocinar y para muchos otros propósitos [2].

En los proyectos sobre planificación hidrológica se menciona con frecuencia los siguientes tres conceptos más importantes cuando se habla del agua:

Utilización.- Es un concepto teórico que define el agua como un medio para alcanzar unos objetivos de producción o consumo establecidos por un agente económico.

Usos.- Indica las diferentes clases de utilización del agua según su destino (usos domésticos, industriales, agrícolas, recreativos, etc.)

Necesidad.- Cantidad y calidad de agua necesaria y suficiente para asegurar la aplicación de las funciones requeridas por los diversos usos, a diferencia de los anteriores conceptos, las necesidades de agua sí son calculables y medibles.

Justificación y delimitación de la investigación

El análisis a realizar es para tener un comparativo de lo teórico con lo real en la producción de este tipo de tubería y poder determinar si se tiene una solución de optimización o no. En este trabajo solo se analizará el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero para un diámetro de 1220 mm (48") para una presión de trabajo no mayor a 3.75 MPa (37.5 Kg/cm²), el cual es el más comercial en los procesos de infraestructura hidráulica en el país.

Planteamiento del problema

En la actualidad la demanda de dicho producto está decreciendo ya que las opciones de nuevos productos han hecho que el mercado sea más amplio y los costos de dichos artículos son bajos por tal motivo en la fabricación de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero se tiene la incertidumbre de que el tubo que se fabrica tiene un factor de seguridad muy alto ya que al realizarle pruebas hidrostáticas los valores que arrojan son elevados para la presión de diseño solicitada.

Objetivo General

Elaborar y analizar por medio de un software de elemento finito a la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero para conducción de agua potable a presiones no mayores a 3.75 MPa (37.5 Kg/cm²) cumpliendo con la norma ANSI/AWWA C301 vigente.

Objetivo Particular

De acuerdo al estudio realizado en la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero analizar cada uno de sus componentes para poder determinar la carga real que soportara dicho producto.

Hipótesis

Se plantea resolver este problema con el estudio global de todos los componentes involucrados en la fabricación de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero siendo más puntuales en el acero de presfuerzo (zunchado), llegando a tener un comparativo entre el análisis analítico y numérico que arroje dicha actividad con los datos que se tienen de forma práctica (real) y así poder tener la solución a dicho problema.

Capítulo 1 Marco Teórico

1.1 Puntos importantes a tomar en cuenta para la selección de tubería

Como hemos visto la conducción del agua es muy importante para poder realizar bastantes actividades; por tal motivo la selección de las tuberías para una red de distribución es de gran importancia ya que éstas son el medio de transporte del agua y en su conjunto cuestan más del 60% del valor total del sistema [2].

Por tanto, para su selección es necesario tener en cuenta una serie de parámetros que a continuación se describen:

- Calidad del agua
- Caudal
- Diámetro
- Presión interna
- Cargas externas
- Resistencia a la corrosión
- Estanqueidad
- Facilidad de mantenimiento
- Vida útil
- Costos

Los materiales empleados en la fabricación de la tubería no deben afectar la calidad del agua al reaccionar químicamente con éstos. Tampoco el agua debe alterar las características de las tuberías al reaccionar químicamente con alguno de sus materiales. Si este aspecto no es tenido en cuenta con el cuidado merecido, puede llegar a presentarse casos como por ejemplo: Un elevado color en el agua originado por la oxidación de las paredes de una tubería de hierro sin el

adecuado revestimiento interno. Un agua conteniendo mucha arena puede desgastar una tubería de fibrocemento rápidamente [2].

Caudal y diámetro

Las tuberías deben permitir el transporte de los caudales establecidos en los proyectos, en unas condiciones de velocidad normal y pérdida de carga, dentro de los límites establecidos por las normas de diseño. Esto se relaciona con los diámetros comerciales con los que se fabrican las tuberías y la rugosidad de sus paredes internas.

Con respecto a la rugosidad, ésta debe ser analizada considerando el periodo de vida útil previsto para las tuberías, el cual debe ser de por lo menos 30 años [3].

Presión interna y cargas externas

Las tuberías también deben estar diseñadas para conducir el agua a una determinada presión interna, la cual debe ser resistida por ellas con un grado de seguridad establecido para cada caso. Allí deben ser considerados además, los esfuerzos ocasionados por la acción de cargas externas y las sobrepresiones originadas por fenómenos transitorios hidráulicos como el golpe de ariete.

Las cargas externas son el peso del material de relleno encima de las tuberías más el de los vehículos que transitan sobre la superficie del relleno [3].

Resistencia a la corrosión

Esta característica de la tubería depende básicamente del material empleado en su fabricación. La llamada corrosión metálica se puede manifestar en forma intensa en suelos químicamente muy agresivos y llevar a las tuberías metálicas enterradas a su destrucción, a menos que sea controlada mediante la aplicación de un recubrimiento bituminoso externo.

Existe también la corrosión electrolítica en tuberías metálicas, ocasionada por corrientes eléctricas vagabundas que al atravesar el metal y hacer contacto a tierra, producen pérdida de material metálico. Para evitar este tipo de corrosión, se debe instalar protección catódica a las tuberías metálicas o en lo posible evitar la instalación de esta tubería al lado de las vías férreas o autopistas de gran tránsito.

Pero también existe corrosión no metálica que afecta a las tuberías de asbesto-cemento cuando el ph del suelo es muy bajo o hay presencia de cloruros y/o sulfatos. La protección en este caso, la provee la aplicación de un recubrimiento bituminoso externo o la construcción de la tubería con cemento clase V resistente a la acidez. De hecho, los únicos materiales resistentes a este tipo de deterioro por corrosión son los plásticos y los de fibra de vidrio. En algunos casos de suelo muy agresivos, se recomienda forrar las tuberías de otros materiales, con telas de polietileno o pinturas bituminosas [3].

Estanqueidad

Es la condición de las tuberías que no deja escapar o salir el agua. El tema de la estanqueidad de las tuberías asume hoy en día una importancia especial cuando el agua es cada vez más costosa y se pueden presentar fugas a través de las uniones y en las acometidas.

Los programas de reducción de pérdidas impuestos hoy en día, hacen énfasis en la estanqueidad de la unión entre las tuberías, pues allí es en donde, por causa de un diseño inadecuado de la junta o una defectuosa instalación, se presenta un porcentaje apreciable de las pérdidas técnicas [3].

Facilidad de mantenimiento

Este es un aspecto muy obvio y conocido y no hay necesidad de entrar en mayores detalles, ya que está íntimamente relacionado a las características de los

materiales, su peso, resistencia mecánica, manejo, posibilidad de soldadura. Hay un tópico que a veces se olvida y es conveniente recordarlo, como es el de la disponibilidad inmediata de piezas de reposición y para reparación de las tuberías [3].

Vida útil

Los proyectos de acueducto se elaboran para períodos de diseño de 20 años o más. En condiciones normales, prácticamente todas las tuberías recomendadas para las redes de distribución presentan vida útil compatible con este plazo, aun cuando hay algunos materiales que aseguran una duración bastante superior [3].

Costos

Los costos representan un factor decisivo en la selección de tuberías y con relación a éste aspecto vale la pena tener en cuenta las siguientes observaciones: los costos de mantenimiento deben ser incluidos en el proceso definitivo. Generalmente sólo se considera el costo de la inversión inicial, adquisición más instalación, aun cuando hoy en día, se favorecen los proyectos analizados con criterios de mínimo costo, también deben ser considerados aspectos como la vida útil y seguridad con relación a fallas graves.

Las tuberías instaladas en las redes de acueducto de las ciudades y municipios del país están fabricadas en materiales diversos como asbesto-cemento, concreto-acero, hierro, acero [3].

Para identificar y clasificar la tubería se deben tener en cuenta las características de cada una de ellas, pues están relacionadas con las funciones que cumplen en la red de acueducto.

La correcta selección de la tubería garantiza la calidad de la instalación y su reparación, características principales a considerar:

Material

Longitud de cada tubo

Diámetros

Relación entre el diámetro exterior y el espesor

Presión de trabajo

Para dejar más claro el último punto tenemos lo siguiente,

Presión de trabajo: Es la presión de diseño, es decir, la presión máxima que calcularon los ingenieros cuando diseñaron el acueducto en una zona específica de éste: conducción, distribución, impulsión. (Incluye sobrepresión por golpe de ariete).

Presión de prueba: Está determinada por el fabricante y generalmente es el doble de la presión de servicio del acueducto, o sea de la presión de trabajo.

Presión de rotura: Es la presión máxima en la cual se rompe el tubo.

1.2 Características de tuberías utilizadas para acueductos

Tuberías de fibrocemento

La unión de estos dos materiales, produce una tubería con las siguientes características:

- Presenta una superficie interior lisa que facilita el paso del agua.
- Es inmune a la oxidación metálica pero presenta acartonamiento, en terrenos agresivos, es decir con alto contenido de sulfatos (suelos ácidos).
- Se han encontrado adherencias internas considerables ocasionadas por residuos del sulfato de aluminio utilizado como coagulante.

- Presenta buen comportamiento ante el golpe de ariete.
- Presenta buen comportamiento en casos de movimientos sísmicos.
- Es totalmente inmune a las corrientes eléctricas erráticas. Por no ser conductor es inmune a la perforación de las paredes del tubo por esta causa.
- Su manejo y la instalación requieren cuidado por ser una tubería frágil a los golpes o caídas.
- El costo del transporte es menor que el de las tuberías metálicas por ser más livianas, ver (Figura 1.1) [4].



Figura 1. 1 Tubería de Fibrocemento tomada de la empresa Mexalit – Eureka.

Tubería de acero

Los acueductos utilizan estas tuberías en líneas de conducción o de redes matrices puesto que vienen en diámetros desde 152 mm (6”) hasta de 610 mm (24”) y en longitudes de 6, 12 o más metros. Como consecuencia de las propiedades del material con el cual son fabricadas, las tuberías de hierro acerado, presentan las siguientes características [5]:

- Gran resistencia mecánica: soportan grandes deformaciones antes de romperse.
- Toleran fuertes presiones: son ampliamente utilizadas para transportar enormes caudales a altas presiones.
- No se utilizan en redes de distribución.
- Son fácilmente oxidables. Están sujetas a todos los tipos de corrosión. Por consiguiente, necesitan revestimiento interno y externo apropiado y la protección indispensable para garantizar su duración.
- Por sus características los procedimientos para conservarlas resultan más costosos.
- Tienen buen comportamiento en casos de golpe de ariete, ver (Figura 1.2).



Figura 1. 2 Tubería de Acero en las mesas de trabajo de la empresa Tumex.

Tuberías de hierro fundido (HF)

Las tuberías de hierro fundido han caído en desuso al ser sustituidas por otros materiales según lo estudiamos anteriormente [6].

- Soporta presiones internas altas.
- Son vulnerables a golpes de ariete severos; cuando esto ocurre, se hace necesaria la reposición de una o más unidades.
- Requiere muchos cuidados en su transporte e instalación, pues se rompen con golpes externos e impactos fuertes, es decir, son frágiles.
- Resiste presiones externas altas.
- Generalmente viene con campana y espiga (unión con plomadura).
- Es una tubería pesada, ver (Figura 1.3.).



Figura 1. 3 Tubería de Hierro Fundido (HF) tomada en el parque de almacenamiento de la empresa Tubería Moreno.

Tuberías de hierro dúctil (HD)

Este tipo de tubería tiene algunas ventajas sobre el hierro fundido. El hierro dúctil se utiliza para la fabricación de tuberías que deban resistir altas presiones, ver (Figura 1.4.) [6].

- Son más livianas que las de (HF).
- Generalmente tienen revestimiento interno de mortero.
- Resistencia a la corrosión sin necesidad de protección.
- Posee alta capacidad de absorción de vibraciones.
- Tiene relativa fragilidad.



Figura 1. 4 Tubería Hierro Dúctil (HD) tomada en el parque de almacenamiento de la empresa Tubería Moreno.

Tubería de concreto

Este tipo de tubería está constituida [7]:

Por un cilindro en lámina de acero que proporciona impermeabilidad y parte de su resistencia.

- Por un refuerzo helicoidal de varilla redonda de acero que completa la resistencia requerida.
- Recubrimiento interior en concreto para evitar corrosión.
- Recubrimiento exterior en concreto para proteger el acero de la oxidación y corrientes eléctricas erráticas.
- Un extremo liso con canal para alojar un empaque de hule.
- Una campana en la cual penetra la espiga con su empaque de hule acoplado.
- Se usa principalmente para conducciones y redes hidráulicas en diámetros superiores a 762 mm (30") hasta 2750 mm (108").

Características de la tubería de concreto – acero:

- Resistencia y amplio margen de seguridad en las siguientes situaciones:
En condiciones del servicio normal.
Frente a grandes y repentinas variaciones de presión como los golpes de ariete.
Cuando ocurren cargas externas altas y puntuales como las que se pueden presentar durante la instalación.
- En condiciones de asentamiento o movimientos del piso de base, dentro de los límites generalmente aceptados en los acueductos, las juntas permanecen sin escape.
- Bajo circunstancias normales de colocación y relleno, soporta sin dificultades recubrimientos hasta de tres metros o más.

[Regresar a Contenido](#)

- Con precauciones especiales en el tendido del relleno, soporta cargas excesivas.
- El recubrimiento de concreto protege el cilindro y el refuerzo de acero de la acción electrolítica de la corrosión causada por el suelo.
- Su reparación es dispendiosa pues se requieren cinturones de cierre, equipos de soldadura eléctrica y personal muy calificado.
- Es una tubería pesada, ver (Figuras 1.5 y 1.6).



Figura 1. 5 Tubería de Concreto Presforzado con Alma de Acero en patio de almacenamiento de la empresa Comecop S.A de C.V.



Figura 1. 6 Tubería de Concreto Presforzado con Alma de Acero tomada de la empresa Comecop S.A de C.V.

1.3 Antecedentes de la tubería de concreto pretensada cilindro de acero.

Hay 2 tipos de tubo de concreto pretensado, tubo con cilindro de acero:

El tipo de cilindro revestido, con un núcleo compuesto de un cilindro de acero revestido con concreto y posteriormente envuelto en alambre directamente sobre el cilindro de acero y recubierto con mortero; el tipo de cilindro embebido, con un núcleo compuesto de un cilindro de acero revestido en concreto y posteriormente envuelto en alambre sobre el exterior de la superficie del concreto y recubierto con un mortero de cemento. El tipo de cilindro revestido, el cual fue en primera estancia utilizado en los Estados Unidos en 1942, está provisto en tamaños de 410 mm (16") a 1520 mm (60"). El tipo de cilindro embebido, el cual fue

desarrollado después e instalado primeramente en 1953, es más comúnmente fabricado en tamaños de 1220 mm (48") y mayores [3].

Ambos tipos diseñados para la específica combinación de la presión interna y la carga externa requeridas para el proyecto de acuerdo con los procedimientos resumidos en la ANSI/AWWA C301 [3], la norma para el diseño del tubo de concreto pretensado con cilindro.

El tubo de concreto pretensado con cilindro de acero es usado para la conducción, distribución, alimentación, sifones de presión (incluyendo cruces de ríos), forzados, líneas de presión industriales, líneas de admisión de agua, y otras aplicaciones.

En la fabricación del tubo con cilindro revestido, el primer paso es el fabricar y probar hidrostáticamente el cilindro de acero con anillos de sujeción unidos al cilindro. Entonces el cilindro es revestido con concreto para formar el núcleo. El concreto es colocado ya sea centrifugado, o con un colado vertical, o por el método de compactación radial. El revestimiento de concreto es curado y un cable de alta resistencia es envuelto alrededor del núcleo directamente en el cilindro de acero [3].

Para el tamaño de cable seleccionado, la tensión y el espaciado del cable son controlados para producir una compresión residual predeterminada en el núcleo para cumplir con los requerimientos de diseño. El núcleo envuelto es entonces cubierto con una densa cubierta de mortero aplicada y premezclada por un método de impacto mecánico.

En la fabricación del tubo de cilindro embebido, el cilindro y los anillos de sujeción, son construidos y probados de la misma forma que en el del tubo de cilindro revestido. Envuelto en concreto por un colado vertical y vibración mecánica para construir el núcleo.

Después del curado, el refuerzo de alambre es puesto bajo tensión en una o más capas alrededor de la parte exterior del núcleo de concreto que contiene el cilindro, en lugar de que sea directamente en el cilindro. La capa exterior de mortero premezclada es colocada por el método de lanzado. La instalación de este tubo esta descrita en el Manual AWWA M9, Tubo de concreto a presión [3].

Acero para cilindros y accesorios.

El acero utilizado en la fabricación de cilindros para tubo deberá de tener un mínimo de carga de fluencia de 227 MPa (33,000 psi). El acero utilizado en la fabricación de accesorios deberá tener un mínimo de carga de fluencia igual o mayor que dos veces el esfuerzo circunferencial del acero resultante de las presiones de trabajo usadas en el diseño de accesorios o 207 MPa (30,000 psi), cualquiera que sea mayor [3].

Bobina y placas de acero.

Las bobinas y placas de acero deberán tener un alargamiento mínimo a un porcentaje de ruptura del 15% en una medida estándar de longitud de 50 mm (2”) y deberá de cumplir con los requerimientos de la ASTM A1011 SS [8], la ASTM A659 [9], o la ASTM A1018 SS [10]. Las placas de acero deberán de ajustarse a la ASTM A283 [11], la ASTM A285 [12] o la ASTM A36 [13].

Barras de acero.

Las barras de acero deberán de ajustarse a la ASTM A663 [14], categoría 55, excepto que el contenido de carbono no deberá de exceder el 0.25 % como el mostrado por el análisis de calor; la ASTM A675 [15] (acero sin plomo), categoría 60, excepto que el contenido de carbón no deberá de exceder del 0.25 % como es

mostrado por el análisis de calor; la ASTM A36 [13]; o la ASTM A575 [16], categoría M1020.

Propiedades físicas.

Una muestra de cuando menos una bobina o bulto deberá de ser probada por calor de acuerdo con las porciones aplicables de la ASTM A370 [17] para la carga de fluencia, fuerza máxima de tensión, y alargamiento para verificarlos con las normas aplicables. En la opinión del fabricante de tubo, estas pruebas podrían ser llevadas a cabo ya sea el fabricante del tubo o por el proveedor del acero.

Tolerancia del espesor.

Placas y láminas deberán de ser ordenadas al espesor determinado considerando todos los factores de diseño pertinentes. Para placas, la variación máxima de espesor permisible deberá de ser de 0.25 mm (0.010") debajo de espesores determinados.

Para láminas, la variación de espesor máxima permisible deberá de ser como está tabulado en la ASTM A568 [18] para espesores de hasta 5.8 mm (0.230") o de la ASTM A635 [19] para espesores mayores aplicables; sin embargo, la variación máxima de espesor permisible para una lámina, no deberá en ningún caso exceder las 0.25 mm (0.010") bajo el espesor determinado.

El espesor de cada bobina o de una lámina de cada bulto deberá de ser revisado por el fabricante del tubo para ajustarlo con las normas aplicables.

Alambre pretensado.

El alambre para el refuerzo circunferencial deberá de estar ajustado a la ASTM A648 [20], incluyendo los requerimientos químicos siguientes: carbono entre un 0.5 -0.85 %, Manganeso 0.6 -1 %, Silicio 0.1 – 0.35 %, Fosforo como máximo 0.3 % y Azufre máximo 0.3 %. El fabricante del tubo deberá de realizar una prueba a una muestra de cada diez bobinas producidas consecutivamente o fracción del mismo en cada lote para obtener todos los requerimientos mecánicos.

El fallo en algún ejemplar, cuando es probado por el fabricante del tubo para que cumpla con los requerimientos de resistencia a la tracción, reducción del área, número de giros en torsión, o área de corte en torsión, enlistados en la ASTM A648 [20], deberán de ser verificados al realizarle nuevamente las pruebas a dos ejemplares adicionales de la bobina en cuestión.

Si cualquiera de los especímenes adicionales falla la nueva prueba para el requerimiento mecánico en el cual el primer ejemplar falló, la bobina en cuestión deberá de ser rechazada.

Las bobinas defectuosas deberán de ser clasificadas y rechazadas. Si el 10 % o más, de las bobinas en un lote son rechazados, entonces el lote entero deberá de ser rechazado.

Barras.

El refuerzo de la barra de acero deberá de ser alrededor del plano de la barra conforme a la ASTM A615 [21], de categoría 40, excepto que el contenido de carbono no debe de exceder el 0.30% como es mostrado por el análisis de calor, y la equivalencia de carbón deberá de ser de un máximo del 0.55% como está determinado por el criterio especificado en la ASTM A706 [22] o conforme a la ASTM A36 [13].

Acero para los anillos de sujeción (extremidades espiga y campana).

La categoría de acero utilizada en la fabricación de anillos de campana para el tubo y accesorios deberá de tener un mínimo de carga de fluencia requerida de 207 MPa (30,000 psi), y para los accesorios deberá de ser igual o mayor que dos veces el esfuerzo circunferencial del acero resultante de las presiones de trabajo usadas en el diseño de accesorios, o 207 MPa (30,000 psi), cualquiera que sea mayor. El anillo de sujeción de acero para la extremidad deberá tener un alargamiento mínimo del 20 % en una medida estándar de longitud de 50 mm (2") [3].

Tiras y láminas de acero.

Tiras y láminas de acero usadas para los anillos de campana deberán de cumplir con los requerimientos de la ASTM A1011SS [8] o la ASTM A1018SS [10].

Placas de acero, barras y secciones especiales.

Formas especiales para los anillos de sujeción de la campana y el anillo de unión de la espiga y placas de acero y barras para anillos de campana deberán de ajustarse a la norma ASTM A283 [11]; ASTM A575 [16], categoría M1012 o la M1015; la A663, categoría 50; la ASTM A575 [16], categoría 1012 o 1015; la ASTM A675 [15] (acero sin plomo), categoría 50, excepto que el contenido de carbono no deberá de exceder el 0.25% como se muestra por el análisis de calor; o la ASTM A36 [13]. Las fundiciones de aceros para accesorios deberán de ajustarse a la norma ASTM A27 [23], categoría 70-36, normalizado.

1.4 Caucho para juntas.

La junta deberá de tener superficies lisas libres de corrosión, burbujas, porosidad, y cualquier otra imperfección. El compuesto de caucho deberá contener no menos del 50% (por volumen) de polisulfeno o cauchos sintéticos. El resto del compuesto deberá de consistir de rellenos pulverizados libres de substitutos del caucho, caucho recuperado, y substancias deletéreas.

El compuesto deberá de cumplir con los requerimientos físicos siguientes cuando sea probado de acuerdo con las condiciones indicadas y designadas por los métodos de prueba de la norma ASTM D412 [24].

Fuerza tensora.

La fuerza tensora del compuesto deberá de ser de cuando menos 18.6 MPa (2,700 psi) para juntas de caucho de polisulfeno y de 13 MPa (2,000 psi) para las juntas de caucho sintético, cuando sean probadas de acuerdo con la norma ASTM D412 [24].

Alargamiento máximo.

El alargamiento máximo deberá de ser de cuando menos el 400 % para juntas de caucho de polisulfeno y de 350 % para las juntas de caucho sintético, cuando se hagan pruebas de acuerdo con la norma ASTM D412 [24].

Densidad.

La densidad nominal deberá de estar dentro del rango de 0.95 a 1.45 (Mg/m³) y los resultados de las pruebas no deberán variar por más de ± 0.05 de la densidad nominal cuando sean probados conforme con la norma ASTM D395 [25].

Taza de compresión.

La tasa de compresión, expresada como el porcentaje de la deflexión original, no deberá de exceder el 20 %. La determinación de la tasa de compresión deberá de ser efectuado conforme la ASTM D395 [25], método B, curando por 22 horas a 70° C (158° F), con la excepción de que el disco deberá estar a 12.7 mm (½”) de la sección gruesa de la reserva de la junta de hule.

La fuerza tensora después del curado.

Después de ser sometido a una prueba acelerada de curado por 96 horas en un horno al aire a 70 °C (158° F) de acuerdo con la ASTM D573 [26], o en una cámara de presión por 48 horas a 70° C (158° F) en una atmósfera oxigenada a 2070 KPa (300 psi) de acuerdo con la ASTM D572 [27], la fuerza tensora del compuesto no deberá de ser menor al 80% de la fuerza tensora antes del curado.

Dureza.

La dureza deberá de estar en el rango de 50 a 65 shore y deberá de ser determinada usando un durómetro del tipo A, de acuerdo con la ASTM D2240 [28], la determinación de dicha propiedad deberá de ser tomada directamente en la junta.

1.5 Requisitos generales para el diseño de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero.

Tamaños.

El tubo deberá de ser provisto con diámetros internos de 410 mm (16”) a 3660 mm (144”) o mayores según sea especificado por el comprador [3].

Longitud mínima de tendido.

En general, el tubo deberá tener una longitud de tendido mínima nominal de 4900 mm (192”), a menos que longitudes menores sean requeridas a causa del peso u otras consideraciones [3].

Exceso de redondez y extremos descuadrados.

Medios adecuados deberán de ser usados como sea necesario para restringir los excesos de redondez del tubo terminado en cualquier sección transversal de esta medida como la diferencia entre diámetros mínimos y máximos, dentro del 1 % o del promedio de estos diámetros. Los extremos del tubo deberán de estar cuadrados con el eje del tubo dentro de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ”) para tubo de hasta 910 mm (36”) de diámetro, dentro de los 10 mm para tubo de hasta 3050 mm (120”) de diámetro, y dentro de la 13 mm ($\frac{1}{2}$ ”) para tubo mayor, excepto cuando los extremos cónicos son facilitados [3].

Tolerancias de diámetro.

El tubo deberá estar verdaderamente redondo y deberá de tener una superficie interior densa y lisa. El diámetro interno medio de cualquier porción de cada pieza

de tubo no deberá de ser menor que la del diámetro de diseño o tamaño especificado por más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") para un tubo de 910 mm (36") y tubo menor; por más de 10 mm para un tubo de 1070 mm (42") y de 1220 mm (48"); por más de 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") para un tubo de 1370 mm (54") a uno de 1980 mm (78"); o por más de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") para un tubo de 2130 mm (84") y tubo mayor [3].

Tolerancias del núcleo y del revestido.

El espesor mínimo de diseño del núcleo, incluyendo el espesor del cilindro, deberá de ser de 1.6 mm ($\frac{1}{16}$ ") del diámetro del diseño del tubo para aplicaciones normales. El espesor de los núcleos no deberá de ser menor al espesor de diseño por más 3 mm ($\frac{1}{8}$ ") para tubo de 910 mm (36") y tubo menor; por más de 5 mm ($\frac{3}{16}$ ") para tubo 1070 mm (42") a 1220 mm (48"); por más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") para tubo de 1370 mm (54") a 1830 mm (72"). El espesor del revestido de concreto deberá de proveer una cubierta mínima de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") sobre el alambre [3].

1.6 Generalidades del diseño del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero.

El tubo deberá de ser diseñado de acuerdo con la ANSI/AWWA C301. El fabricante deberá de enviar al comprador una verificación del diseño para aprobación previa a la fabricación de cualquier tubo esto si está en las especificaciones del comprador [3].

Refuerzo.

El refuerzo del tubo deberá de consistir de un cilindro soldado de acero en el núcleo y un alambre de alta tensión envuelto helicoidalmente alrededor del núcleo bajo una tensión uniforme y medida después de que el concreto en el núcleo haya

sido colocado y curado. El espesor nominal mínimo del cilindro deberá de ser de 1.5 mm (0.0598”).

El diseño del esfuerzo del envolvimiento burdo del cable de alta tensión no deberá de exceder el 75 % de la fuerza mínima de tensión requerida del alambre. El tamaño nominal del tamaño del alambre no deberá de ser menor a 4.88 mm (0.192”) de diámetro. El diseño de la línea central de espaciamiento entre alambres en la misma capa de refuerzo no deberá de ser menor a 2.75 diámetros de alambre para tubo revestido con cilindro y de 2.0 diámetros de alambre para tubo embebido con cilindro. El espaciamiento máximo de la línea central entre alambres en la misma capa de refuerzo no deberá de exceder de la 38 mm (1½”) excepto para el tubo revestido con cilindro con 6.35 mm (¼”), o para un mayor espaciamiento máximo de la línea central, la cual no debe de exceder 25.4 mm (1”) [3].

Anillos de sujeción (extremidades espiga y campana).

Los anillos de sujeción de acero de la espiga de la campana deberán de ser diseñados y fabricados para asegurar que la unión será autocentrada, cuando el tubo es soldado y unido. Cada anillo deberá de ser formado uniendo los extremos de una o más piezas de acero usando la penetración completa de la soldadura a tope. Los soldados en las superficies de contacto de la junta deberán de ser lisos y a ras de las superficies adyacentes.

Los anillos de sujeción deberán de ser colocadas con bastante precisión. Los anillos deberán de ser adheridos al cilindro de acero por una hermeticidad angulada o por una unión de soldadura a tope. Previo al embarque del tubo, las porciones de acero de los anillos de sujeción que se encuentran expuestas en el tubo terminado deberán de ser protegidas con un primer inhibidor de corrosión aplicado de tienda o con un revestimiento de zinc metalizado [3].

Dimensiones y tolerancias (extremidades espiga y campana).

Los anillos de sujeción deberán de ser expandidos por una prensa más allá de sus límites elásticos, para que así sean colocados con bastante precisión. En el tubo terminado, la circunferencia de la superficie de contacto interior del anillo de campana, no deberá de exceder la circunferencia de la superficie de contacto del anillo de la espiga exterior por más de 4.8 mm (3/16"), para juntas de 16.7 mm (21/32") de diámetro o menor y de 6.35 mm (1/4") para juntas mayores.

El exceso máximo de redondez de cualquier superficie de contacto en 1220 mm (48") y tubo de menor diámetro, medido como la diferencia entre los diámetros máximos y mínimos del anillo de sujeción, no deberá de exceder 4.8 mm (3/16") o el 0.7 % del promedio de los diámetros máximos y mínimos, cualquiera que sea mayor.

El exceso de redondez del anillo de sujeción para tubo mayor de 1220 mm (48") no deberá de exceder el 0.5 % de los diámetros máximos y mínimos promedios o de 12.7 mm (1/2"), cualquiera que sea menor.

El espesor mínimo de los anillos de campana ya terminados deberán ser de 4.8 mm (3/16") para un tubo menor de 910 (36") y de 6.35 mm (1/4") para tubo mayor de 910 mm (36").

Los anillos deberán de ajustarse a los detalles enviados por el fabricante y aceptados por el comprador. Los anillos de sujeción deberán de ser designados para que así como el tubo es reposado y la unión completada, la junta será cerrada en todas sus cuatro direcciones y guardado bajo adecuada compresión para asegurar así un sello hermético bajo las condiciones de servicio.

Puntas y bordes afilados en las superficies del anillo de sujeción contactando la junta deberán de ser alisados o desafilados [3].

Juntas de hule.

Las uniones deberán de ser selladas con una junta de hule de anillo solido continuo teniendo una sección circular cruzada con una tolerancia diametral de $\pm 0.40\text{mm}$ ($\pm 1/64''$). Las juntas deberán ser del volumen suficiente para así llenar sustancialmente el hueco provisto cuando la unión del tubo es ensamblada, así que la junta será comprimida para formar un sello apretado a presión. La junta deberá de ser el único elemento dependiente de hacer la unión hermética. Empalme un máximo de 2 empalmes en cada junta deberá de ser permitida la provisión de la longitud de la junta entre empalmes es de cuando menos 610 mm (24"). Empalmes de prueba cada empalme en una junta terminada deberá de ser revisado estirando la junta a cuando menos 2 veces de la longitud original de la junta. Cada empalme, mientras es estirado, debe de ser girado a un mínimo de 180° en cada dirección para permitir una inspección entera del empalme. Lo empalmes que muestren una separación visible o grietas serán rechazados.

Almacenaje de la junta todas las juntas deberán de ser almacenadas en un lugar que minimice la exposición de la junta a combustibles, solventes, o algún otro material deteriorante para el hule, y la alta temperatura. Todas las juntas deberán de ser protegidas de los rayos directos del sol. Las juntas no deberán demostrar agrietamientos, rupturas, o alguna otra evidencia de deterioro [3].

Capítulo 2 Análisis estructural de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero.

2.1 Método de fabricación de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero

Fabricación de cilindros de acero.

El cilindro de acero deberá de estar formado por un soldado y moldeado, ambos de longitudes cortas o bobinas de material y espesores requeridos. El cilindro deberá de estar formado con una alta precisión al tamaño requerido, y los anillos de sujeción deberán de ser soldados a los extremos antes de realizarle pruebas [3].

Especificaciones del procedimiento de soldadura.

El fabricante deberá de preparar especificaciones de procedimientos de soldadura escrito para toda soldadura, de acuerdo a la norma aplicable. La calificación del proceso deberá de ser realizada sino existe ningún proceso. Si es requerido por el comprador, las especificaciones del procedimiento de soldadura deberán de ser agregados [3].

Cualidades del soldador.

Todos los soldadores y operadores de soldadura deberán de estar cualificados en el proceso y la posición de soldadura usada. Cada soldador u operador de soldadura deberá de haber calificado dentro de los últimos 3 años. Calificaciones aceptables, como aplicables, están por los requerimientos siguientes:

1. ANSI/AWS D1.1, Código de soldadura estructural - acero
2. ANSI/AWS D1.3, Código de soldadura estructural – lámina de acero
3. Sección IX del Código ASME para envase a presión y caldera para el soldado P-No. 1 (bajo contenido de carbón) aceros.
4. CSAW47.5 Certificación de compañías para soldadura por fusión de estructuras de acero. Para el propósito de esta norma, soldadores y operadores de soldadura calificados bajo la Sección IX del Código ASME para envase a presión y caldera para soldar P-No.1 los aceros deberán de estar estimadamente calificados para soldar cualquier combinación de aceros enlistados anteriormente [3].

Soldadura.

Cuando el alambre no es envuelto directamente en el cilindro, soldadura de extremo o soldadura de vuelta compensada de las juntas helicoidal o transversal y longitudinal, deberán de ser usadas para producir una superficie externa lisa y continua. Si el cilindro es revestido en el núcleo del concreto, soldadura de extremo o soldadura de solape para juntas helicoidal o transversal y longitudinal deberán de ser usadas. Previo a la soldadura, las láminas deberán de ser ajustadas estrechamente, y deberán de ser sujetadas firmemente durante la soldadura. Muestras representativas de las piezas soldadas deberán de ser realizadas al comienzo de cada serie de producción para las máquinas de soldadura/formado cuando sea que el diámetro del tubo o el espesor del cilindro sea cambiado.

Estas muestras deberán de ser probadas transversalmente a la pieza soldada, y la fuerza tensora deberá de cumplir o exceder la fuerza tensora requerida del acero usado para el cilindro [3].

Ensamblaje soldado del anillo de sujeción al cilindro.

Las partes a ser unidas por soldaduras en ángulo deberán de ser colocadas a un contacto tan cercano que sea factible. La apertura de raíz para cilindros de 3.175 mm (1/8”), y menores, no deberán de exceder de 4.763 mm (3/16”). Si la separación es mayor de 1.6 mm (1/16”), la etapa de la soldadura en ángulo deberá de ser incrementada por la cantidad de la apertura de raíz, o el fabricante deberá de demostrar la efectiva garganta requerida que se haya obtenido.

Tales tipos de soldaduras deberán de ser inspeccionados durante la prueba hidrostática por inspectores cualificados por la AWS D1.1 Sección 6.1.4. En la (Figura 2.1) se muestra la aplicación de soldadura a la extremidad, en las (Figuras 2.2 y 2.3) se muestra en proceso de conformado de la extremidad campana así como en la otra figura se muestra el método de expansión de las extremidades espiga y campana. En la (Figura 2.4) se muestra el armado del cilindro con sus dos extremidades para que después de ahí pase al proceso de prueba hidrostática [3].



Figura 2. 1 Aplicación de soldadura a extremidad espiga en el taller de anillos y cilindros de la empresa COMECOP S.A. de C.V.



Figura 2. 2 Conformado en frio de extremidad campana por rolado, foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la empresa Comecop S.A de C.V.



Figura 2. 3 Método de expansión de extremidades espiga y campana foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la empresa Comecop S.A de C.V.



Figura 2. 4 Armado de cilindro con extremidades espiga y campana foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la empresa Comecop S.A de C.V.

Prueba hidrostática.

Cada cilindro de acero, con anillos de sujeción soldados a sus extremos, deberán de ser sujetos a una prueba hidrostática. Cuando el espesor sea de 3.42 mm (0.1345”), o cilindros menores son probados en una posición horizontal, la presión aplicada deberá de ser tal que el esfuerzo será de cuando menos 138 MPa (20,000 psi) pero no mayor de 172 Mpa (25,000 psi). Cuando el cilindro es probado en una posición vertical, el esfuerzo en el extremo inferior deberá de ser de 172 MPa (25,000 psi). Cilindros con espesor más grande de 3.42 mm (0.1345”), los cuales ocasionalmente podrían ser requeridos para situaciones de diseño especiales, deberán de ser probados para las presiones requeridas para cilindros de calibre 10. Todo flujo deberá de ser retirado de la pieza soldada previo o durante la prueba hidrostática del cilindro. Mientras se esté bajo la prueba de presión, todas las soldaduras deberán de inspeccionadas minuciosamente, y todas las parte que muestren fuga deberán de ser marcadas. Los cilindros que muestren alguna fuga bajo prueba, deberá de tener la presión interna liberada, ser nuevamente soldada en los puntos de fuga, y ser sometida a otra prueba hidrostática [3].

Este procedimiento deberá de ser repetido hasta que el cilindro terminado, con los anillos de sujeción unidos, pruebe ser completamente hermético bajo la prueba hidrostática de presión requerida. En la (Figura 2.5) se muestra esta actividad.



Figura 2. 5 Prueba hidrostática del cilindro foto tomada en el taller de anillos y cilindros de la empresa Comecop S.A de C.V.

Preparación de la superficie de acero para seguir con el proceso de fabricación.

Antes de que el núcleo de concreto y el revestido de mortero sean colocados, cada cilindro de acero deberá estar libre de cualquier sustancia ajena a el que interfiera con el enlazamiento del concreto con el mortero. Toda protuberancia o hendidura en el cilindro de acero desviado de la superficie cilíndrica por más de 10 mm (3/8") deberá de ser removida previo a la colocación del concreto. Ninguna hendidura o protuberancia en el cilindro del tubo revestido con cilindro que cause más de 1.6 mm (1/16") de espacio libre entre el cable pretensado y el cilindro después del envolvimiento, será permitido. La excepción es en la soldadura de vuelta compensada del cilindro, en donde el espacio libre máximo no deberá de exceder el 1.6 mm (1/16") más el espesor del cilindro en profundidad (medido radialmente al cilindro) [3].

2.2 Concreto para el núcleo del tubo.

El concreto en los núcleos podría ser colocado por el método centrífugo, por el método de colado vertical, por el método de compactación radial, o por cualquier otro método aprobado. Las proporciones de cemento, agregado fino, agregado grueso, y de agua usadas en el concreto para los núcleos del tubo deberán de ser determinados y controlados conforme el trabajo pase a resultar ser un concreto durable apegado a los requerimientos de esta norma y en la ANSI/AWWA C304.

Un mínimo de 254 Kg (560 libras) de cemento deberá de ser usado para cada 0.76m³ de concreto. A menos que sea especificado de otra manera por el comprador, hasta un 20 % del peso del cemento, podría ser reemplazado con materiales puzolanicos o hasta un 10 % del peso del concreto, podría ser reemplazado con humos de silicio.

La relación cemento-agua deberá ser tal que el concreto cumplirá con los requerimientos de resistencia, pero en ningún caso deberá de exceder el 0.5 para concreto colocado por el proceso de centrifugado o de 0.45 para concreto colocado por el colado vertical o el proceso de compactación radial. El contenido de cloración soluble en agua de la mezcla de concreto, expresada como el porcentaje del peso del cemento, no deberá de exceder del 0.06 % [3].

Medición de los materiales.

Materiales cementosos deberán de ser medidos por peso. El agua para el mezclado deberá de ser medido por volumen o por peso. Los agregados de concreto para cada lote deberán de ser medidos separadamente por pesaje. Las proporciones de los agregados deberán de ser calculadas en las bases saturadas de las superficies secas, y la relación de agua-cemento deberá de ser exclusiva del agua dentro de los agregados y absorbida por ellos.

Las unidades de peso equivalentes para ambos agregados, el fino y el grueso, deberán de ser determinadas de acuerdo con la ASTM C29 [29], el equipo y dispositivos de medición y de pesaje deberán de ser precisos dentro del 1 % todo el tiempo.

Mezclado.

El tiempo de mezclado deberá de ser consecuente con los tipos de materiales, mezclas, y la mezcladora. El mezclado transitorio no deberá de ser usado excepto que haya una autorización escrita y bajo específicos requerimientos del comprador. En el momento de uso, todos los agregados deberán de estar libres de material congelado.

La temperatura de la mezcla no deberá de ser menor de 4° C (40° F) al momento de la colocación. La temperatura de la mezcla para los núcleos por compactado radial o colado vertical, no deberá exceder los 32° C (90° F) al momento de colocación a menos que las recomendaciones contenidas en clima caluroso para concreto, como esta reportado por el Comité 305 de la ACI, son aplicadas para controlar el efecto de la temperatura en la calidad del concreto [3].

Cilindros de prueba de concreto.

Un juego de cuando menos dos cilindros de prueba estándar, de diámetro de 200 mm (8") por 300 mm (13") de longitud o de 100 mm (4") por 200 mm (8"), deberán de ser hechas diariamente del concreto mezclado de cada diseño de mezcla colocado ese día, para comprobar los 28 días de los requerimientos de resistencia del concreto.

Es más, para determinar la resistencia del concreto en los núcleos previo al pretensado, dos cilindros estándar de prueba deberá de ser hechos diariamente por 38.2 m³ de concreto por cada diseño de mezcla hecha en un día, o dos

cilindros estándar de prueba por núcleo de tubo, cual sea que requiera el menor número de cilindros [3].

El concreto para los cilindros de prueba deberá de ser tomado de la mezcla de acuerdo con la ASTM C172 [30] con la excepción de que la muestra deberá de ser recolectada de una sola porción de aproximadamente el centro de los dos tercios del lote. Cilindros de prueba varados deberán de ser hechos de acuerdo con la ASTM C31 [31], y cilindros de prueba vibrados deberán de ser hechos de acuerdo con la ASTM C31 [32] y la ASTM C192 [33].

El curado inicial de los cilindros de prueba deberá de ser el mismo que para el tubo. Después del curado inicial, los cilindros hechos para la determinación de la fuerza para el pretensado, deberá de ser almacenado en el mismo ambiente que los núcleos del tubo, y los cilindros de prueba para la determinación de la fuerza en los 28 días, deberá de ser curado de acuerdo con la ASTM C31 [31].

Todos los cilindros de prueba deberán de ser probados de acuerdo con la ASTM C39 [33] por un laboratorio de pruebas certificado, a menos que el fabricante tenga instalaciones de prueba certificadas en el lugar de trabajo.

Resistencia del concreto.

La resistencia compresiva del núcleo del concreto deberá de ser verificada por cilindros de prueba de concreto como se definió anteriormente. Deberá de asumirse que los núcleos tienen la misma resistencia que los cilindros de prueba, excepto cuando el núcleo es colocado por un colado centrífugo y cilindros de prueba varados son usados. Para este caso solamente, la resistencia a la compresión del núcleo deberá de considerarse un tercio más fuerte que los cilindros de prueba varados. La resistencia a mínima a la compresión del núcleo de concreto al momento del pretensado deberá de ser de 20.7 MPa (3,000 psi)

para los núcleos de colado vertical y de 27.6 MPa (4,000 psi) para núcleo de concreto colocado por colado centrífugo o compactación radial.

La resistencia mínima a la compresión del núcleo a los 28 días deberá de ser de 31 MPa (4,500 psi) para los núcleos de colado vertical y de 41.4 MPa (6,000 psi) para núcleos colocados por colado centrífugo o compactación radial. Para estar conforme a los requerimientos de esta sección, el promedio de cada 10 pruebas consecutivas de resistencia de cilindros representando cada tipo de concreto, deberá de ser igual o mayor que la resistencia requerida. No más del 20 % de las pruebas de resistencia deberán de tener valores menores a la fuerza requerida. Cilindros dañados no deberán de ser probados. Tubo hecho de concreto que no cumpla con las pruebas de resistencia de acuerdo con los requerimientos de esta sección deberán de ser objeto de rechazo [3].

Colocación del concreto por el método de colado vertical.

El núcleo de concreto revestido deberá de ser colado de principio a fin en un molde de hierro o en un anillo con base de acero con formas de acero rígido plegables para las superficies del concreto. Las formas deberán de ser diseñadas para asegurar que tendrán superficies de contacto lisas, uniones apretadas, y que serán sostenidas precisa y firmemente en la posición adecuada sin ninguna distorsión durante la colocación del concreto. Las formas deberán de ser diseñadas para permitir que el núcleo del tubo pueda ser removido sin dañar las superficies del concreto. Las formas deberán ser limpiadas a fondo y revestidas con un agente liberador de formas antes de cada uso. La transportación y colocación del concreto deberá de ser llevada a cabo por métodos que no causaran separación de los materiales del concreto o del desplazamiento del cilindro de acero o formas de sus propias posiciones. Métodos adecuados de vibración mecánica deberán de ser usados para compactar el concreto en las

formas y para asegurar superficies satisfactorias, en la (Figura 2.6) se ve el método de colado vertical del tubo [3].



Figura 2. 6 Llenado del molde mediante el colado vertical del núcleo de concreto en patio de la empresa Comecop S.A. de C.V.

2.3 Curado del núcleo.

Los núcleos de tubo deberán de ser curados como se describe en esta sección para obtener concreto de las resistencias requeridas para cilindros probados.

Curado acelerado.

Los núcleos deberán de ser colocados en una instalación de curado o por el contrario, cubierta por un recinto adecuado que permitirá una correcta circulación de la corriente de aire. Dentro de la última hora de colocación del concreto en cada recinto, cualquier concreto expuesto, incluyendo las superficies en la parte superior de los núcleos de tubo colados verticalmente, deberán de ser mantenidas

húmedas constantemente, ya sea por mantener un ambiente húmedo que rodee el núcleo del tubo completo a una humedad relativa no menor del 85 %, o sellando superficies del concreto expuestas con un compuesto curado de concreto adecuado para agua potable, o por la presencia de agua libre en contacto con las superficies del concreto expuestas [3].

Si el compuesto del curado es utilizado, el fabricante del tubo deberá de demostrar que no reduce el lazo de mortero de unión colocado en el campo, o que el compuesto del curado debe de ser removido de las superficies que estarán en contacto con el mortero de unión después de que el curado esté completado.

La temperatura del concreto fresco dentro del recinto no deberá de estar por debajo de los 4° C (40° F). La temperatura en el recinto no deberá de incrementarse arriba de los 35° C (95° F) por la introducción de calor antes, 4 horas después de la colocación final del concreto en ese recinto. En ningún momento durante el curado acelerado, deberá la temperatura dentro del recinto ser incrementada a un grado que exceda los 22° C por hora (40° F por hora).

Después del periodo de retraso de 4 horas, la temperatura dentro del recinto deberá de ser mantenida a una temperatura de 32° C y 52° C (90° F y 125° F) para un periodo mínimo de 12 horas (incluyendo el periodo de retraso), excepto por el tiempo requerido para mover las formas o los anillos. Las formas no deberán de ser movidas hasta que el concreto haya adquirido una resistencia suficiente para soportar daños durante la operación de la remoción de la forma, pero en ningún caso las formas deberán de ser removidas hasta 6 horas después de la finalización de la colocación del concreto. El curado total, que consiste del periodo de retraso, el curado acelerado, y el curado a aire libre, deberán de ser suficientes para producir las resistencias del concreto señaladas [3].

Curado del agua.

El curado del agua deberá de comenzar tan pronto como el concreto se haya asentado lo suficiente para prevenir daños a las superficies expuestas del concreto. Todas las superficies expuestas del concreto deberán entonces de mantenerse húmedas por medio de un rocío intermitente o continuo de agua durante el periodo de curado del agua.

Las formas no deberá de ser removidas hasta que el concreto haya obtenido la suficiente resistencia para soportar daños durante la operación de la remoción de la forma, pero en ningún caso las formas deberán de ser removidas hasta después de 12 horas de la terminación de la colocación del concreto. El curado total, que consiste del curado del agua y del curado al aire libre, deberá de ser suficientes para producir las resistencias del concreto requeridas. La (Figura 2.7) muestra cómo se mantiene el núcleo en proceso de curado con agua [3].



Figura 2. 7 Curado del núcleo de concreto en patio de almacenamiento en la empresa Comecop S.A de C.V.

2.4 Colocación del alambre de presfuerzo (pretensado).

El alambre pretensado no deberá de ser bobinado alrededor del núcleo hasta que haya alcanzado la resistencia mínima a la compresión. La compresión inicial inducida en el núcleo del concreto no deberá de exceder el 55 % de la resistencia a la compresión del concreto al momento del envolvimiento.

Huecos con una profundidad o diámetro de 10 mm (3/8") o mayores, y compensaciones mayores a 3 mm (1/8") en la superficie exterior de los núcleos de concreto embebidas con cilindro deberán de ser reparados antes del pretensado.

Los métodos y equipos para la aplicación del alambre deberán de ser tales que el alambre será envuelto alrededor del núcleo de una forma helicoidal al espacio y tensión, diseñados predeterminadamente para la longitud completa del núcleo, excepto a los extremos del núcleo en donde una envoltura circunferencial de alambre podría ser aplicada a una mitad de la tensión diseñada.

El número de envolturas en algunos 600 mm (24") de longitud de núcleo no deberán de ser menores que lo requerido por el diseño. No deberá de haber una escala de oxidación o corrosión en el alambre pretensado. Una película de oxidación ligera que no causa corrosión visible en la superficie del alambre a simple vista después del secado limpiado ligero, no deberá de ser causa de rechazo. Los empalmes de alambre deberán de ser capaces de soportar una fuerza igual a la mínima especificada, de la resistencia máxima a la tensión del alambre. La resistencia de los empalmes del alambre deberá de ser verificada por pruebas de fuerza de ejemplares representativos que deberán de desarrollar la resistencia mínima a la tensión del alambre especificada. Anclajes del alambre a los extremos del núcleo, deberán de ser capaces de soportar una fuerza igual al 75% de la resistencia mínima a la tensión del alambre especificada. La tensión en el alambre durante la operación de pretensado deberá de ser constantemente

certificada. La tensión media deberá de ser especificada para producir la tensión requerida en el alambre.

Las fluctuaciones en la tensión no deberán de desviarse de la media por más de $\pm 10\%$. La ruptura del alambre o algunos otros eventos que requieran de un retensionamiento del alambre no deberá de causar que la tensión del alambre existente o del alambre recién envuelto desvaríe de la media más de $\pm 10\%$. La (Figura 2.8) demuestra la colocación del alambre de presfuerzo [3].



Figura 2. 8 Colocación de alambre de presfuerzo al núcleo de concreto en la máquina de zunchado de la empresa Comecop S.A de C.V.

Pasta de cemento Pórtland.

Como el alambre circunferencial pretensado esta embobinado, un compuesto de pasta de cemento Pórtland de no menos de 43 Kg (94 libras) de cemento, a 30 L (8 galones) de agua, deberá de ser aplicado de tal manera que la porción del alambre apoyada en contra del núcleo, será revestida con una pasta de cemento.

La velocidad de aplicación de la pasta no deberá de ser menor de 3.8 L (1galon) por 9.3 m². Un retardador podría ser utilizado en la mezcla a menos de que no esté permitido por las especificaciones del comprador. Inmediatamente previo a la colocación de la pasta de cemento, cualquier pérdida de la escala de laminado, oxidación excesiva, aceite, grasa, y algunas otras sustancias ajenas deberán de ser removidas de todas las superficies para recibir la pasta de cemento. La temperatura de la superficie del núcleo deberá de ser de cuando menos 2°C (35° F) al momento del envolvimiento [3].

2.5 Revestimiento del tubo

Después de que el núcleo ha sido envuelto con alambre pretensado, un revestido de mortero exterior del espesor requerido que se mencionó anteriormente deberá de ser aplicado, ver (Figura 2.9). El espesor del revestido con mortero deberá de ser revisado en cada tubo por un método no destructivo, previo a la remoción del tubo de la máquina de revestido. La temperatura de la superficie del núcleo envuelto deberá de ser de cuando menos 2°C (35°F) al momento de que el revestido con mortero es aplicado [3].



Figura 2. 9 Colocación de revestimiento al tubo para recubrir acero de presfuerzo en máquina de la empresa Comecop S.A de C.V.

Las proporciones del lote de mortero para revestido, deberán de consistir de una parte de cemento Pórtland de no más de tres partes del peso del agregado fino. El contenido de humedad de una muestra de revestido tomada de la mezcladora no deberá de ser menor de 7% del total del peso en vacío de la mezcla. Cemento y agregado fino deberán de ajustarse a lo mencionado en la sección de materiales, el rebote no excediendo un cuarto del peso de la mezcla total, podría ser utilizado como material de reemplazo solamente para agregado fino.

El rebote no usado dentro de una hora deberá de ser descartado. El mortero deberá de ser mezclado a fondo, y después de que el mezclado este completo, deberá de ser depositado por lanzado para que así un denso y durable revestimiento sea obtenido. La cloración soluble en agua contenida en la mezcla de revestido con mortero, expresada como porcentaje de peso de cemento, no deberá de exceder el 0.06%.

Al mismo tiempo con el revestido con mortero, una pasta de cemento consistiendo de no menos 43 Kg (94 libras) de cemento a no más de 30 L (8 galones) de agua, deberá de ser aplicada al núcleo a una velocidad de no menos de 3.8 L por 9.3 m² justo antes del revestido con mortero [3].

Curado del revestimiento

Curado acelerado.

El tubo revestido deberá de ser colocado en la instalación de curado tan pronto como sea posible después de haberle colocado el revestido. El tubo revestido deberá de ser curado bajo demora, temperatura, y condiciones de humedad requeridas para un periodo mínimo de 12 horas [3].

Curado del agua.

Tan pronto como el curado esté lo suficientemente listo, deberá de mantenerse húmedo por un rocío intermitente por un periodo de cuando menos 4 días. El periodo de curado del agua deberá de ser extendido una hora por cada hora durante las primeras 24 horas si es que la temperatura ambiente es menor de 101°C (501°F) [3].

Grietas en el tubo.

Grietas en la superficie interior.

Las grietas helicoidales o circunferenciales que tengan una anchura de 1.5 mm (0.06") o menor, son aceptadas sin reparación. Las grietas circunferenciales más anchas de 1.5 mm (0.06") son aceptables sin reparación si se puede demostrar, para satisfacción del comprador, que las grietas sanaran autógenamente bajo continuos hundimientos en agua.

Las grietas no visibles mayores de 150 mm (6”), medidas para estar dentro de los 15° de una línea paralela al eje longitudinal del tubo, deberán de ser permitidas en la superficie interior del tubo terminado excepto, (1) en la superficie del molde centrifugado de concreto; (2) en las secciones de tubo con collares o envolturas de refuerzo de acero; o (3) dentro de los 300 mm (12”) de los extremos del tubo [3].

Grietas en la superficie exterior.

La superficie exterior del revestido con concreto sobre zonas pretensadas del tubo deberá de estar libre de grietas visibles. Esto no aplica a superficies agrietadas con anchuras que no pueden ser medidas.

Las grietas exteriores en el revestido con mortero sobre zonas no pretensadas del tubo son aceptables sin reparación si su ancho no excede de 0.25 mm (0.01”). Si estas grietas exceden el 0.25 mm (0.01”) de ancho, deberán de ser reparadas al frotárseles con una pasta de cemento húmedo o llenándolas con una pasta ordenada de cemento [3].

Reparación del concreto o mortero.

El concreto o mortero deficiente deberá de ser removido en medida del defecto y a un ancho y profundidad que le permita ser reemplazado con una mezcla de reparación. El ancho del concreto o mortero removido en la superficie, deberá de ser menor que el ancho de la parte inferior, con una pendiente de lado de aproximadamente 10° pero sin exceder los 30°. Previo a la colocación del parche, la cavidad deberá de estar libre de holgaduras, aglomerados, y materiales ajenos que interfieran con la unión al concreto o al mortero.

Después de haber humedecido las superficies de la cavidad con agua limpia, la cavidad deberá de ser rellenada con una mezcla de reparación que consta de concreto o mortero de las mismas proporciones de la mezcla originalmente usada en el tubo o con material de reparación comercial, sujeto a aprobación del comprador, teniendo propiedades compatibles para el endurecimiento del concreto

o mortero. El espesor de la reparación no deberá de ser menor que el espesor original del área dañada ni menor que el espesor mínimo del material de reparación recomendado por el fabricante. El método de aplicación de la reparación puede ser por paleteo, empaquetado en seco, formado. Las superficies de la reparación deberán de ser alisadas y mezcladas con la superficie original usando una paleta, o por la pronta aplicación de un compuesto de curado ajustado a la ASTM C309 [34].

El compuesto de curado usado en el interior del tubo deberá de ser apropiado para el servicio de agua potable. Tubos reparados no deberán de ser instalados hasta que estén completamente curados. La reparación deberá de estar inspeccionada visual y sonoramente después del curado para encontrar cualquier señal de agrietamiento o delaminación. Si defectos o daños en cualquier sección del tubo son muy numerosos o extensos que, en la opinión del comprador, será insatisfactorio realizar reparaciones separadas, entonces si el revestido con mortero es juzgado de tener un daño extensivo, el tubo entero debe de ser rechazado. Otros materiales y métodos de reparación propuestos por el fabricante podrían ser utilizados si son aprobados por el comprador. Los vacíos (bolsillos de aire) en la superficie interior del tubo teniendo un ancho o profundidad de 9.5 mm (3/8") o mayores, deberán de ser llenados con mortero. Una paleta, un borde recto, o un escurridor deberán de ser usados para mezclar el mortero con la superficie de cemento continuo [3].

2.6 Acabado y marcado de tubería.

Finalmente el tubo es trasladado al patio de almacenamiento en donde se le da acabado primario, se pintan extremidades espiga y campana, logotipos, así mismo se debe de marcar con las siguientes características [3]:

- Marca y/o nombre del fabricante
- Diámetro

- Fecha de fabricación
- No. De tubo
- Norma bajo la cual se fabricó el tubo
- Empaque que se debe de usar
- Leyenda Hecho en México
- Sello de liberación por parte de control de calidad.

2.7 Análisis del tubo de concreto con cilindro de acero.

Una vez que se describió el proceso de fabricación del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero de acuerdo a la normas vigentes para su fabricación, se empieza a realizar el análisis de elemento finito de forma axisimétrica quedando el modelo de la siguiente manera para comenzar con el análisis obteniendo valores de esfuerzo y deformación ver las siguientes (Figuras 2.10 y 2.11).

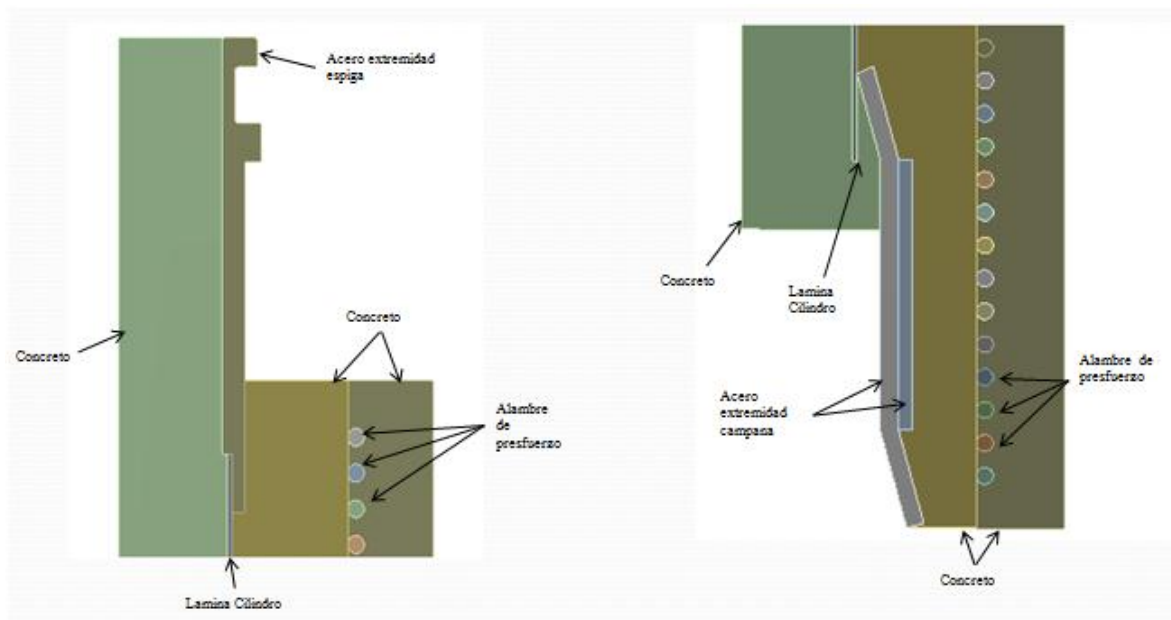


Figura 2. 10 Esquema de extremidades espiga y campana de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero para el análisis de elemento finito.

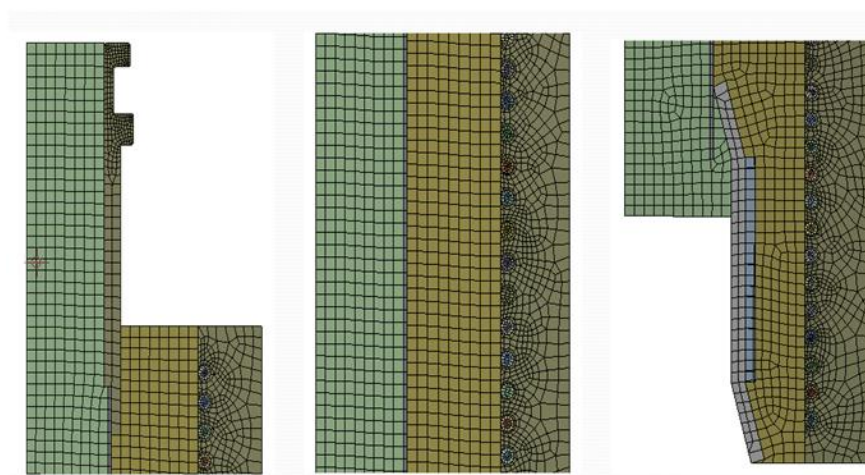


Figura 2. 11 Sistema de malla en la extremidad espiga, cuerpo del tubo y extremidad campana para realizar el estudio de la tubería.

El análisis a desarrollar será de un tubo de concreto con una presión de carga de 3.7 MPa (536 psi) en la (Figuras 2.12 y 2.13) se muestra la aplicación de esta

presión. Los valores que se obtienen de deformación y esfuerzo se muestran en las (Figuras 2.14, 2.15, 2.16 y 2.17).

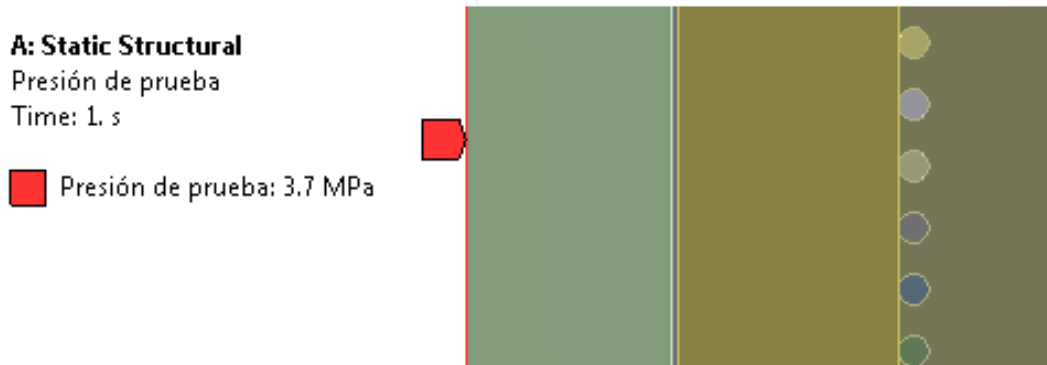


Figura 2. 12 Aplicación de presión de prueba en la parte interior del tubo.

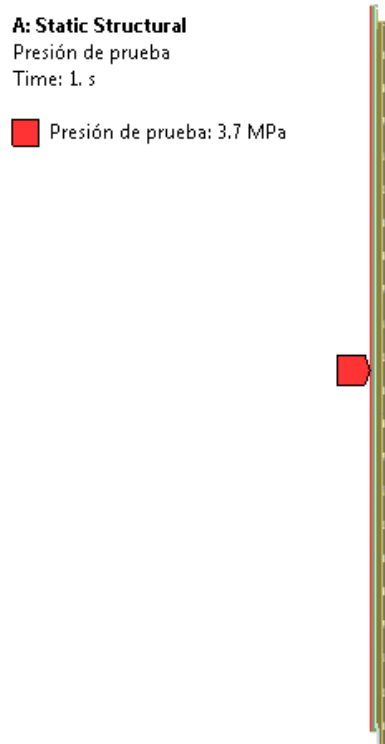


Figura 2. 13 Análisis de tubo a presión de prueba de 3. 75 MPa (536 psi).

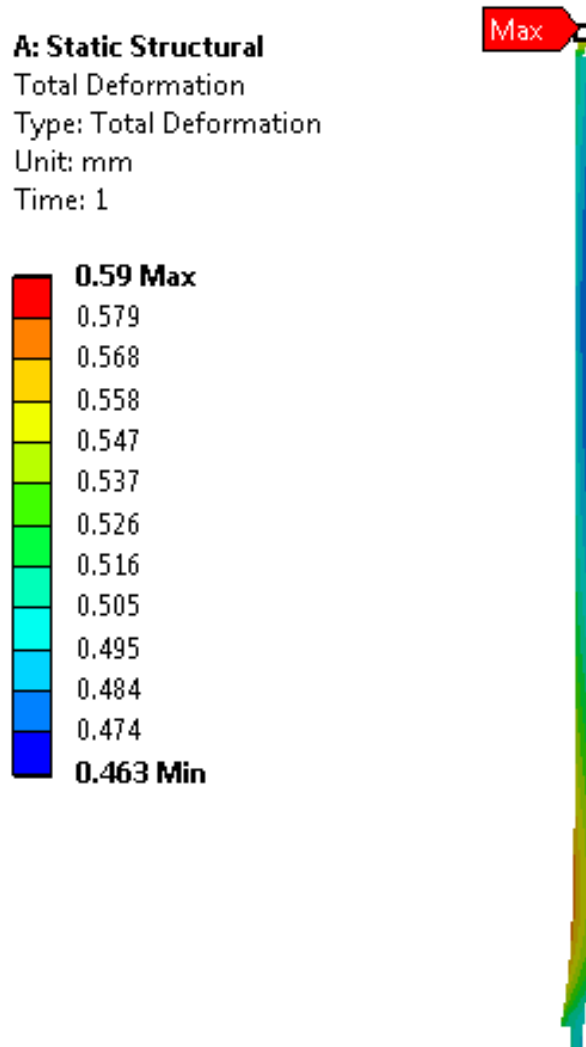


Figura 2. 14 Deformación total en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero sin enchufe.

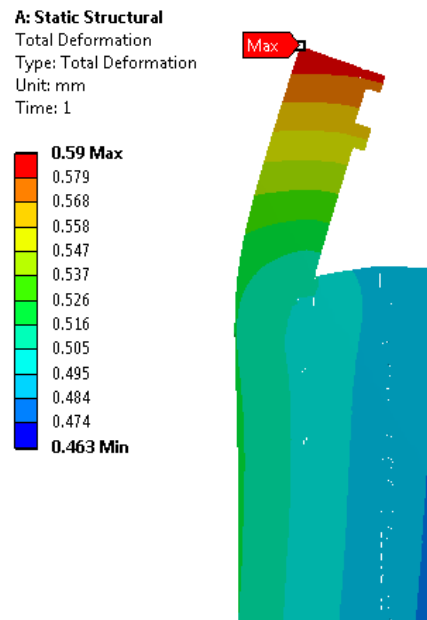


Figura 2. 15 Deformación máxima en extremidad espiga en tubo sin enchufe.

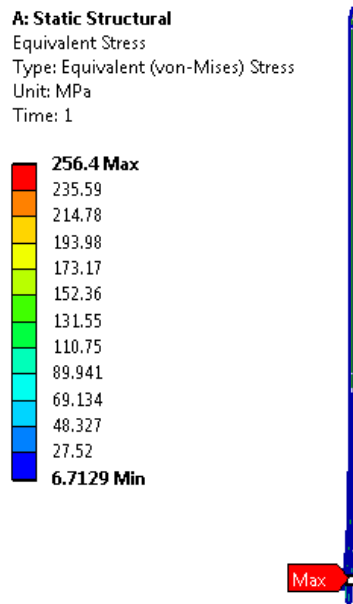


Figura 2. 16 Comportamiento de esfuerzos de Von Mises a lo largo del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero sin enchufe.

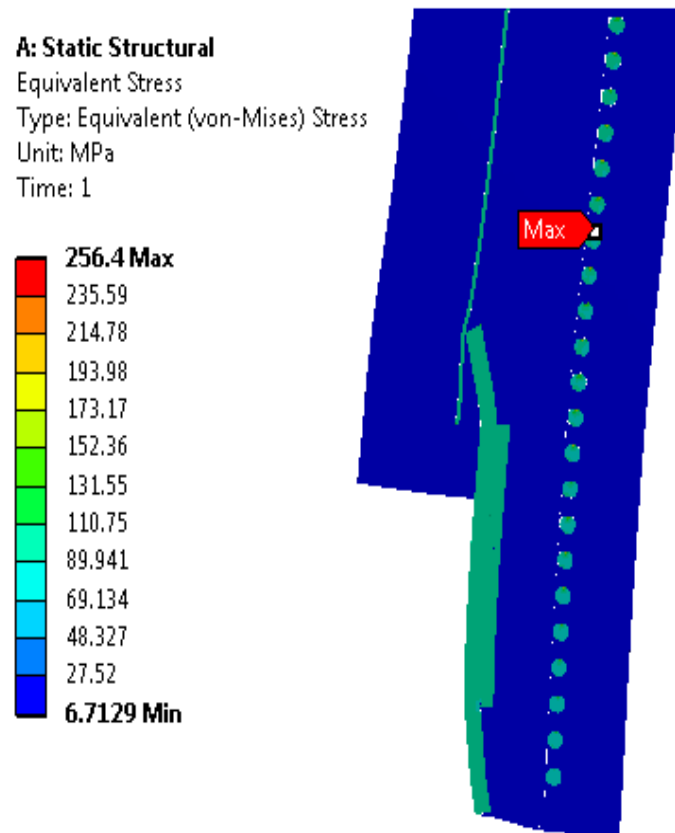


Figura 2. 17 Área del esfuerzo máximo de Von Mises en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero sin enchufe.

Análisis del concreto interior del núcleo

Una vez que se describió el proceso de fabricación del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero de acuerdo a la normas vigentes para su fabricación, se empieza a realizar el análisis de elemento finito de forma axisimétrica de los diferentes componentes del tubo iniciando con el modelado de dicho producto teniendo los siguientes resultados de deformación en un tubo sin enchufe como se ven en las (Figuras 2.18 y 2.19).

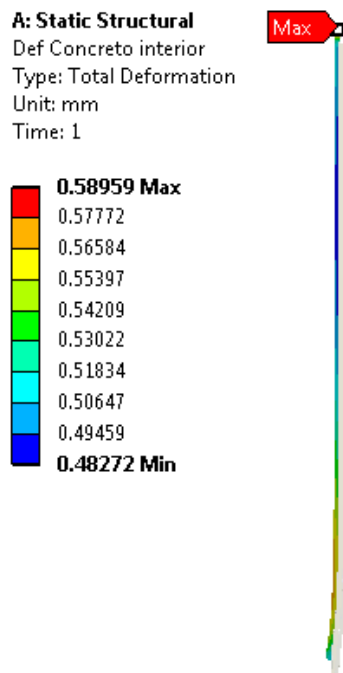


Figura 2. 18 Deformación total en el concreto interior del tubo sin enchufe.

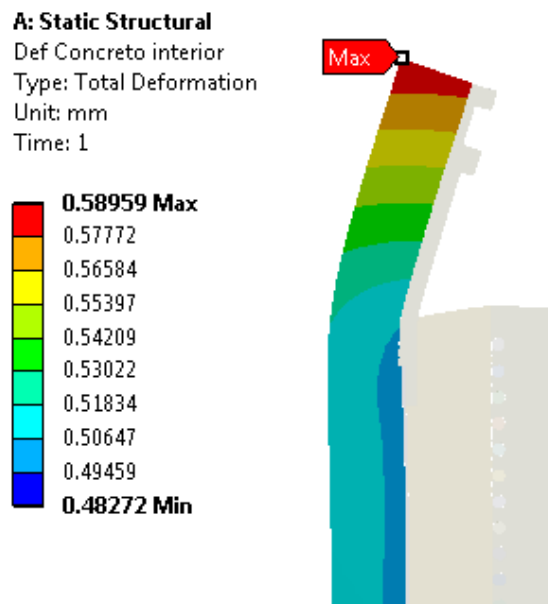


Figura 2. 19 Punto en donde se encuentra la deformación máxima esto en la extremidad espiga.

Así mismo se encontraron valores máximos de esfuerzo en este parte del análisis teniendo los siguientes resultados que se muestran en las siguientes (Figuras 2.20 y 2.21).



Figura 2. 20 Esfuerzo de Von Mises máximo en concreto interior del tubo sin enchufe.

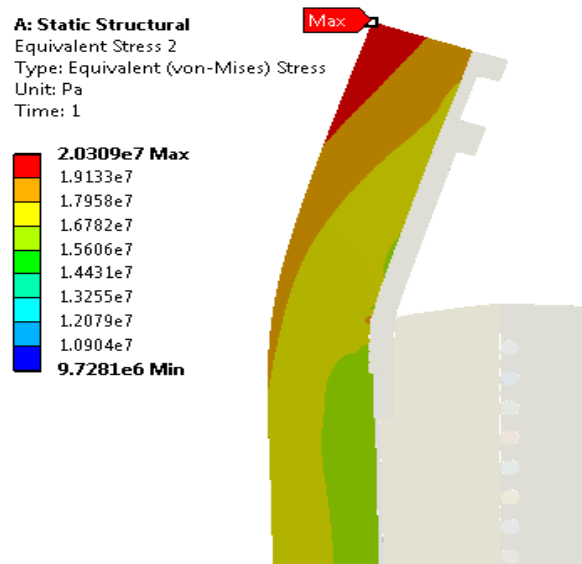


Figura 2. 21 Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto interior del tubo parte espiga sin enchufe.

Análisis del cilindro.

Se describe ahora los resultados obtenidos en el análisis de elemento finito de forma axisimétrica del cilindro como se observa en las (Figuras 2.22, 2.23, 2.24, 2.25).

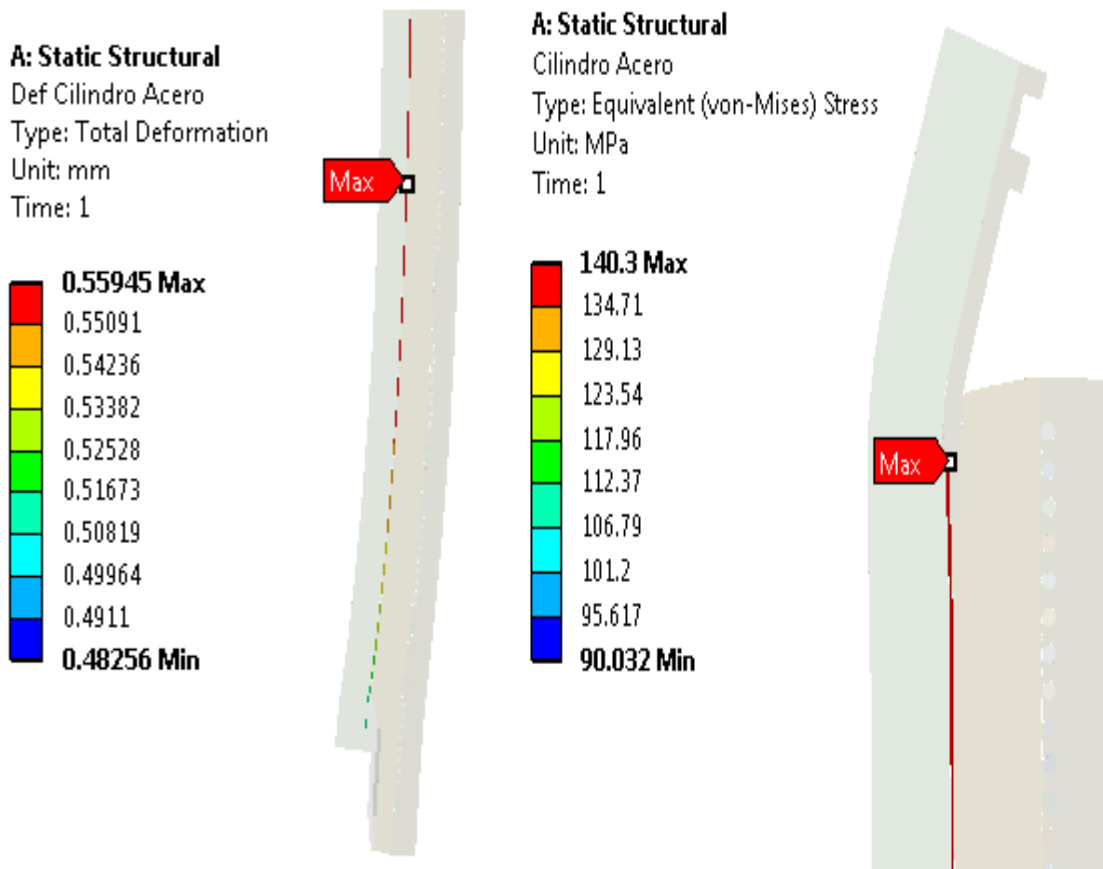


Figura 2. 22 Resultado del análisis en el cilindro tanto deformación total como esfuerzo máximo de Von Mises sin enchufe del tubo.

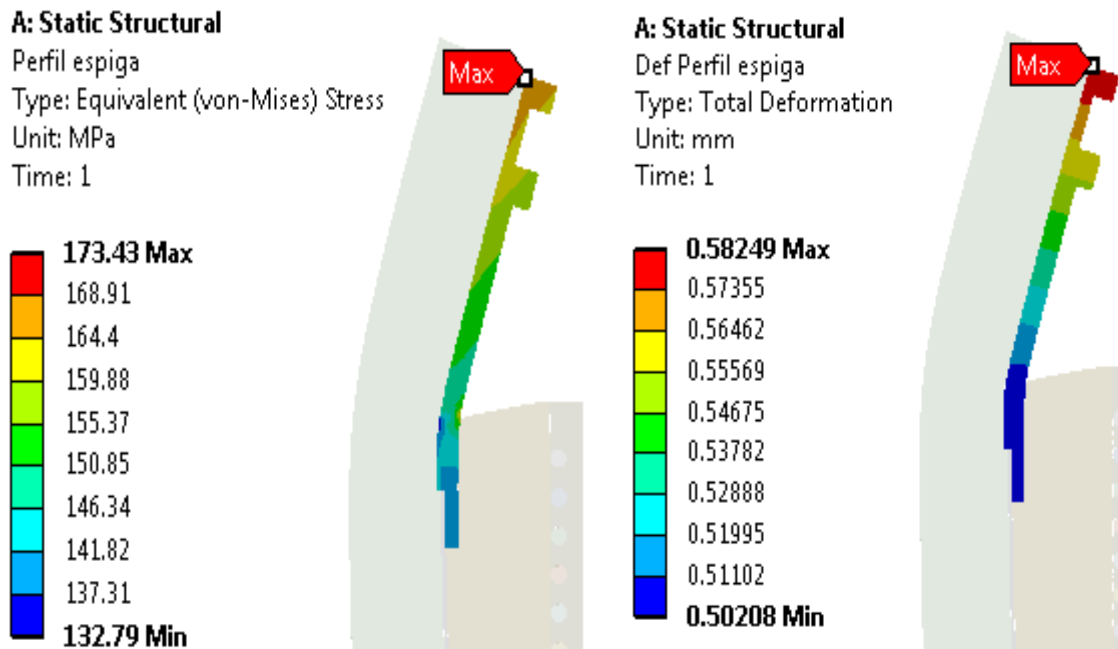


Figura 2. 23 Esfuerzo y deformación máximas en extremidad espiga del tubo sin enchufe.

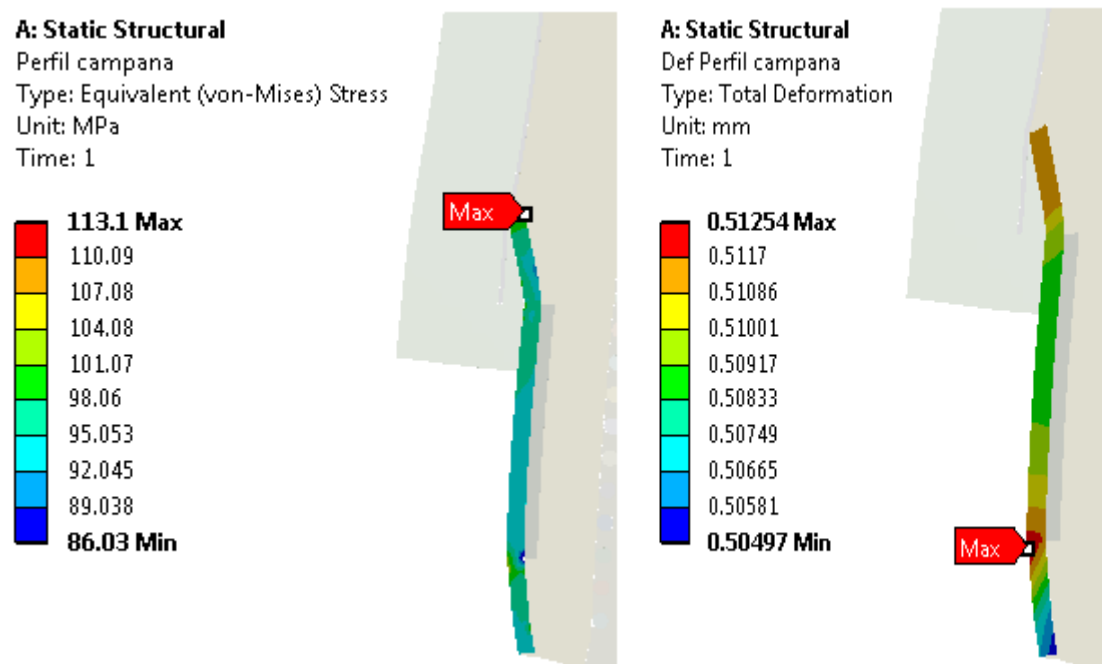


Figura 2. 24 Esfuerzo y deformación máximas en extremidad campana del tubo sin enchufe.

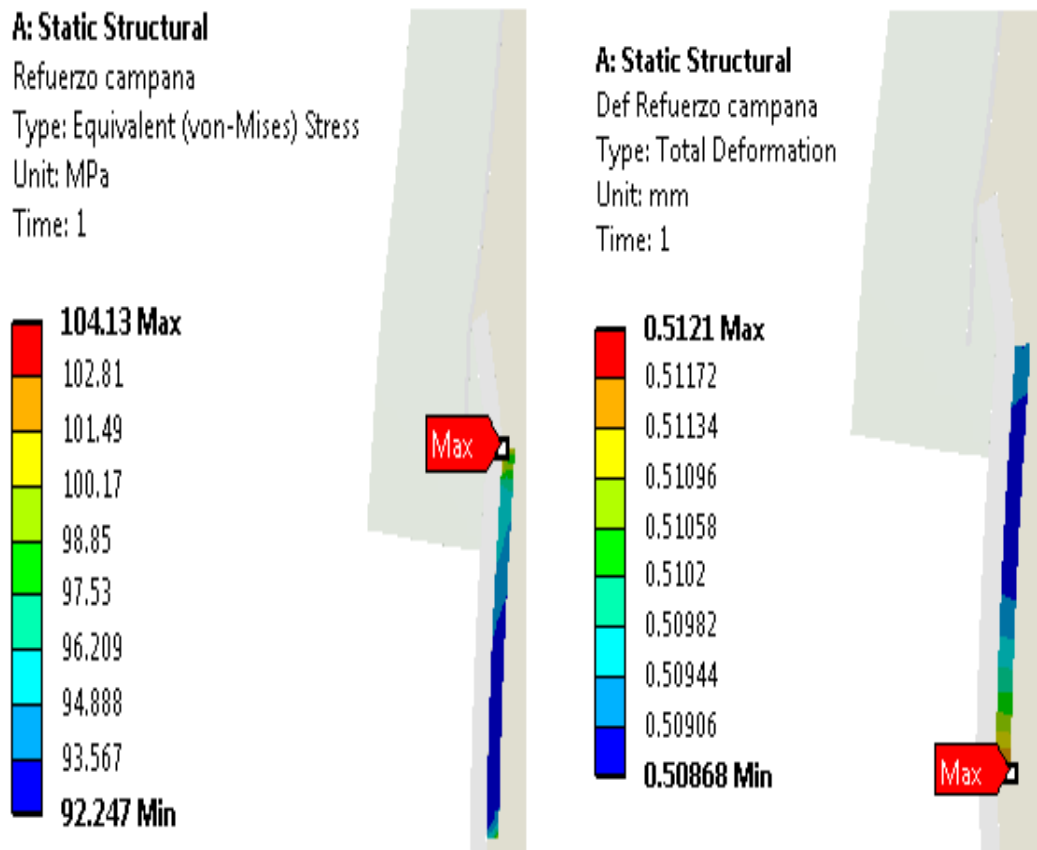


Figura 2. 25 Esfuerzo y deformación máximas en refuerzo de extremidad campana del tubo sin enchufe.

Análisis del concreto intermedio del tubo

Se describe ahora los resultados obtenidos de esfuerzos máximos de Von Mises en el análisis de elemento finito de forma axisimétrica del cilindro como se observa en las (Figuras 2.26 y 2.27).

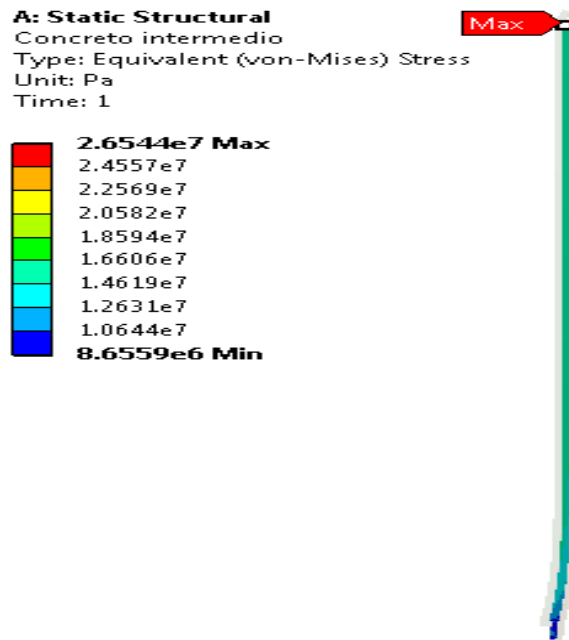


Figura 2. 26 Esfuerzo de Von Mises en concreto intermedio del tubo sin enchufe.

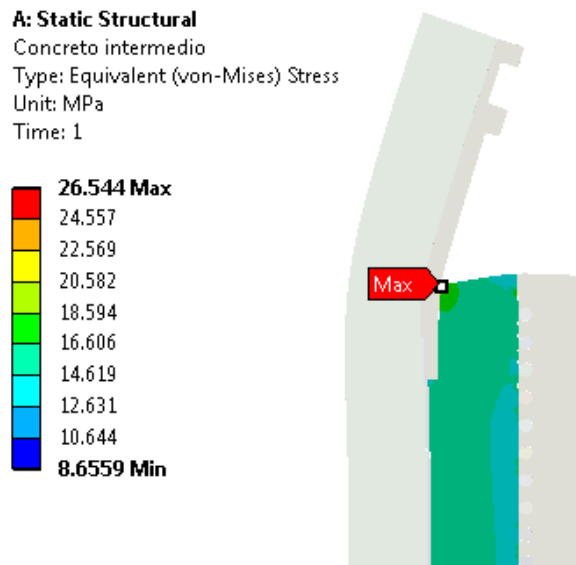


Figura 2. 27 Área de Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto intermedio del tubo sin enchufe.

Análisis del acero de presfuerzo del tubo.

Se describe ahora los resultados obtenidos en el análisis de elemento finito de forma axisimétrica del acero de presfuerzo tanto de esfuerzo y deformación (Figuras 2.28 y 2.29) respectivamente.

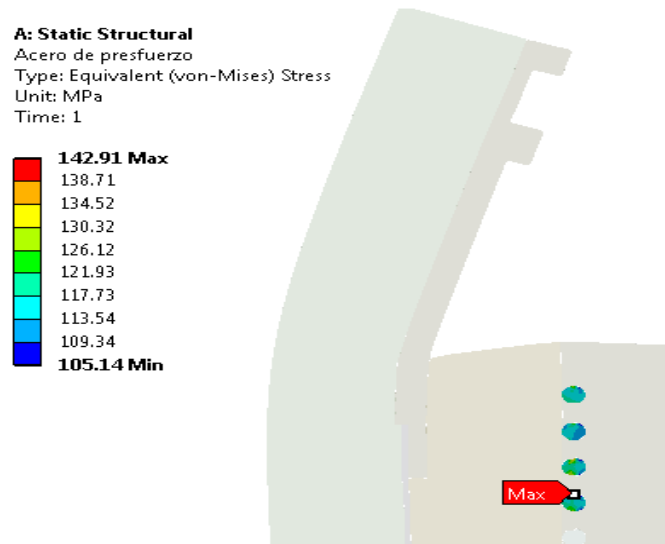


Figura 2. 28 Esfuerzo máximo de Von Mises en acero de presfuerzo en tubo sin enchufe.

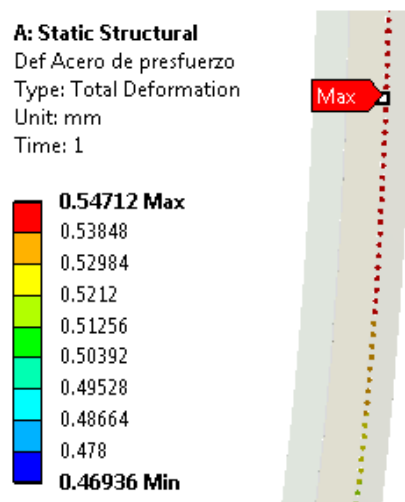


Figura 2. 29 Deformación máxima en acero de presfuerzo en el tubo sin enchufe.

Análisis del concreto de revestimiento del tubo.

Resultados obtenidos en el análisis de elemento finito de forma axisimétrica del concreto de revestimiento o recubrimiento del tubo encontrándose que estructuralmente no hay ningún problema y cumple con la norma que rige la fabricación de este tipo de tubería, ver (Figuras 2.30 y 2.31).

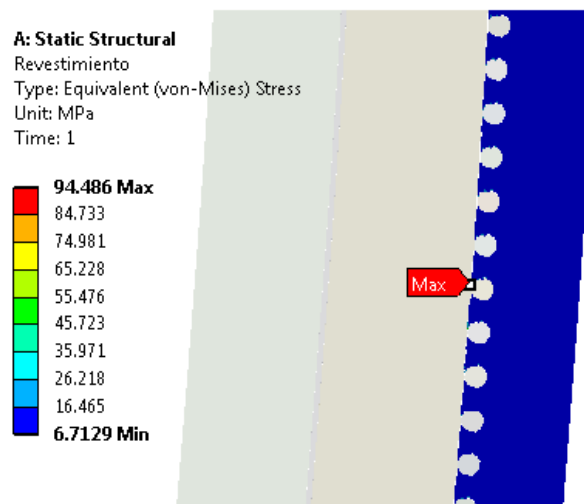


Figura 2. 30 Esfuerzo de Von Mises máximo en concreto de revestimiento del tubo sin enchufe.

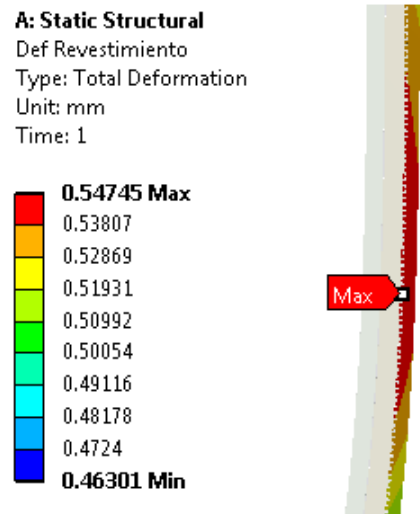


Figura 2. 31 Deformación máxima en concreto de revestimiento del tubo sin enchufe.

Capítulo 3 Análisis de enchufe de tubería de concreto.

3.1 Análisis de enchufe del tubo de concreto sin junta hermética (oring).

Esta es una parte muy importante en el diseño del tubo por lo que el análisis a seguir se analiza el comportamiento del producto al simular el enchufe del mismo y ver el comportamiento tanto de esfuerzos como deformaciones en cada parte correspondiente de la tubería de concreto. En la (Figura 4.1) se muestra la unión de los tubos con su respectiva junta hermética (oring).



Figura 3. 1 Enchufe de tubería de concreto pretensado con junta hermética (oring) tomada en el laboratorio de la empresa Comecop S.A de C.V.

En el análisis de este tubo se realizó en un tubo corto ya que como se vio anteriormente en la parte del cuerpo no se tiene problema para esto la longitud del tubo es de 500 mm (20") así como también se somete a la presión de prueba de

3.7 MPa, a continuación se muestra el diseño a estudiar en la (Figuras 3.2, 3.3 y 3.4).

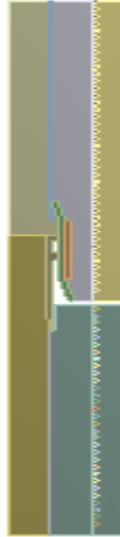


Figura 3. 2 Diseño de tubo corto sin junta hermética (oring) para realizar el análisis de acuerdo a la presión de prueba.

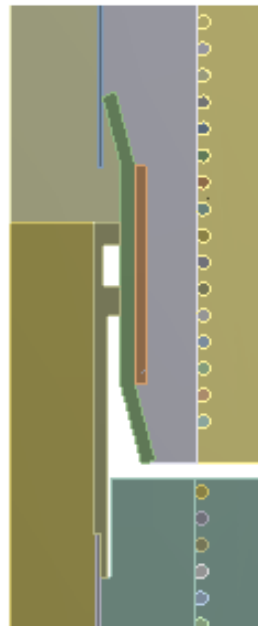


Figura 3. 3 Tubo enchufado sin junta hermética (oring), mostrando todos los componentes para el análisis en estudio.

Una vez ya teniendo el diseño se empiezan a obtener valores de deformación en el enchufe de los componentes generales del tubo corto en análisis (Figura 3.4).

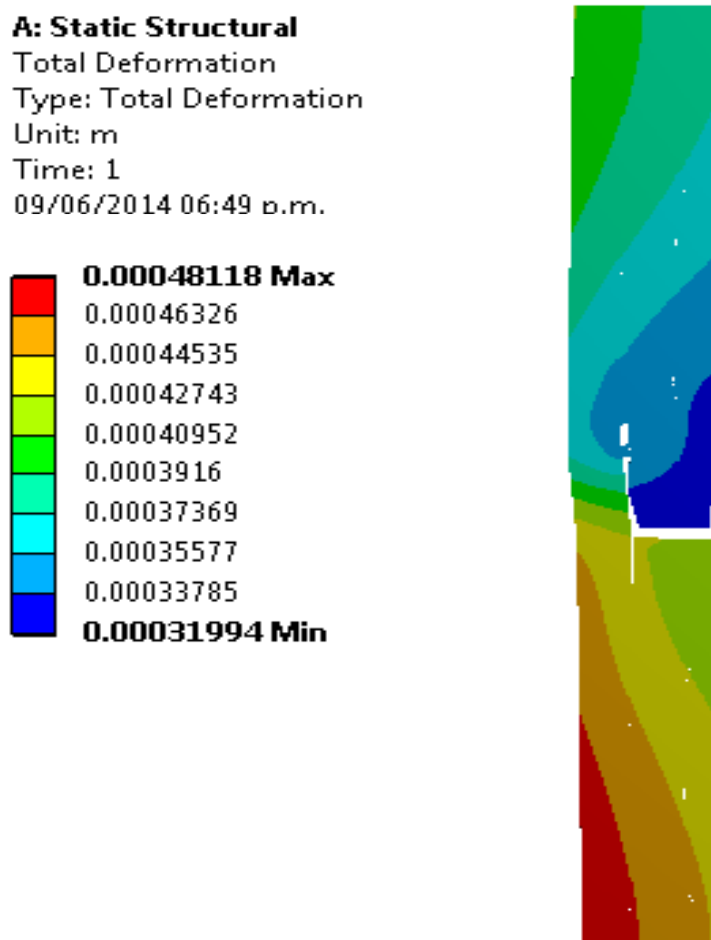


Figura 3. 4 Deformación máxima total en enchufe del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero.

Así mismo en la (Figura 3.5) se demuestra el esfuerzo máximo de Von Mises que hay en la unión de los tubos cortos, observando que el máximo esfuerzo se encuentra en la extremidad campana.

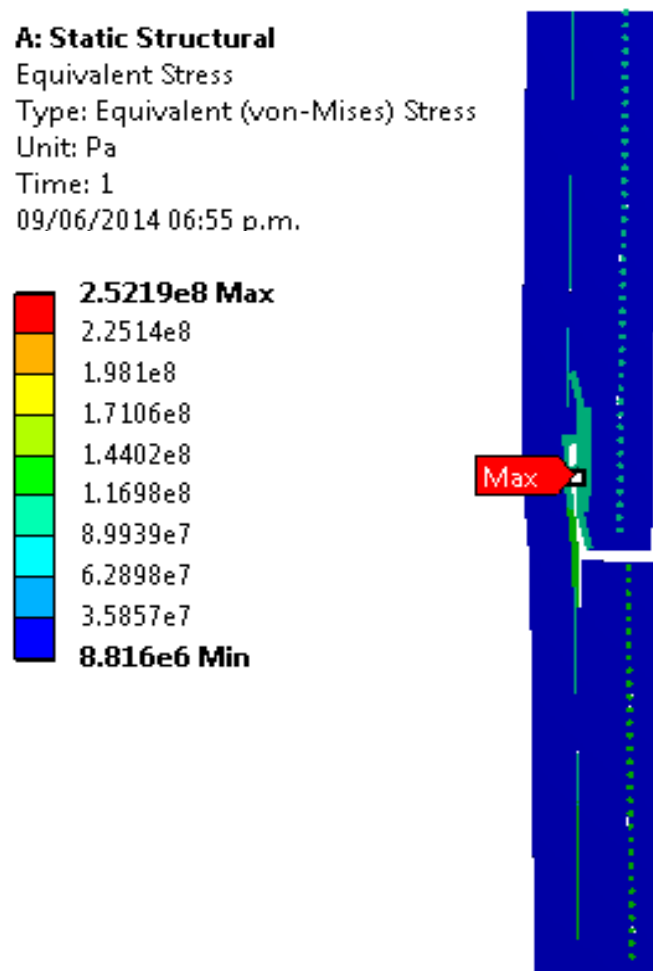


Figura 3. 5 Esfuerzo máximo de Von Mises en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero.

Ahora bien se muestran los valores que se obtienen de esfuerzo máximo de Von Mises en el concreto interior del tubo y son los siguientes (Figura 3.6).

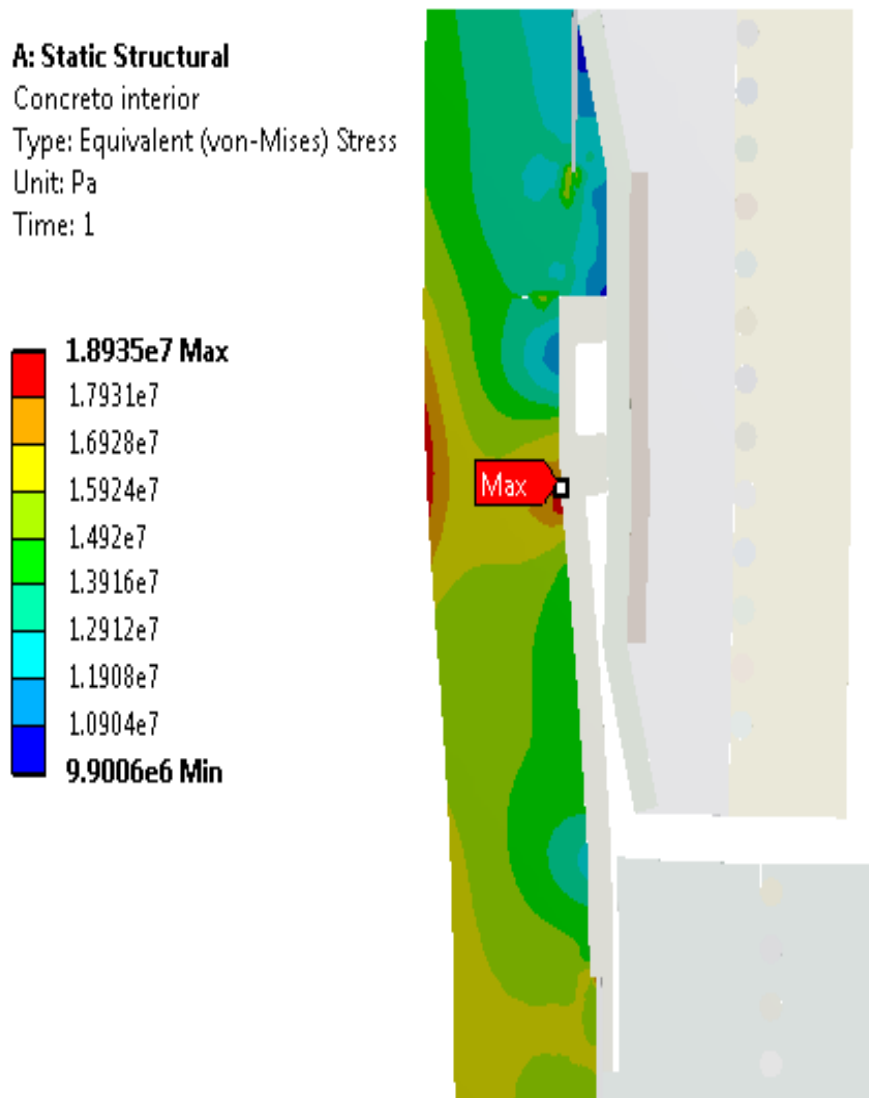


Figura 3. 6 Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto interior con tubo enchufado.

En la parte del cilindro de acero los valores de esfuerzo máximo de Von Mises se observan en la (Figura 3.7) sin que haya ningún problema estructural en dicho componente.

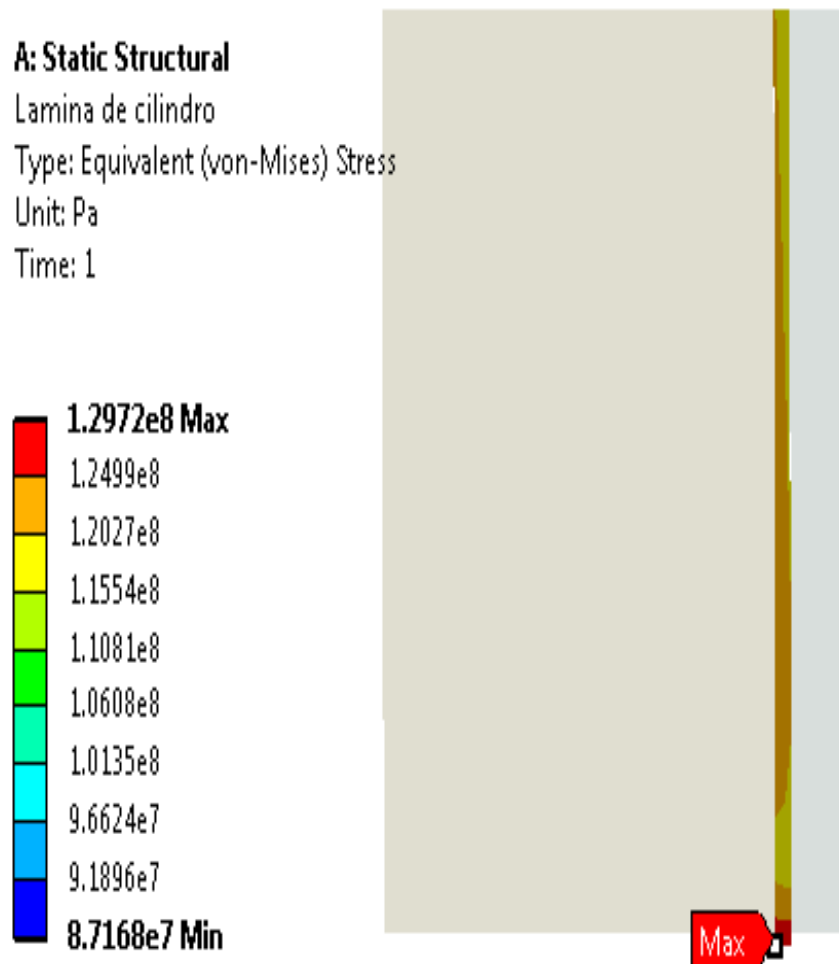


Figura 3. 7 Esfuerzo máximo de Von Mises en cilindro de acero del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero, enchufado.

Con respecto al concreto intermedio se obtienen los esfuerzos máximos de Von Mises en los dos componentes de ensamble sin tener ningún problema en la (Figura 3.8) se visualiza su comportamiento del concreto.

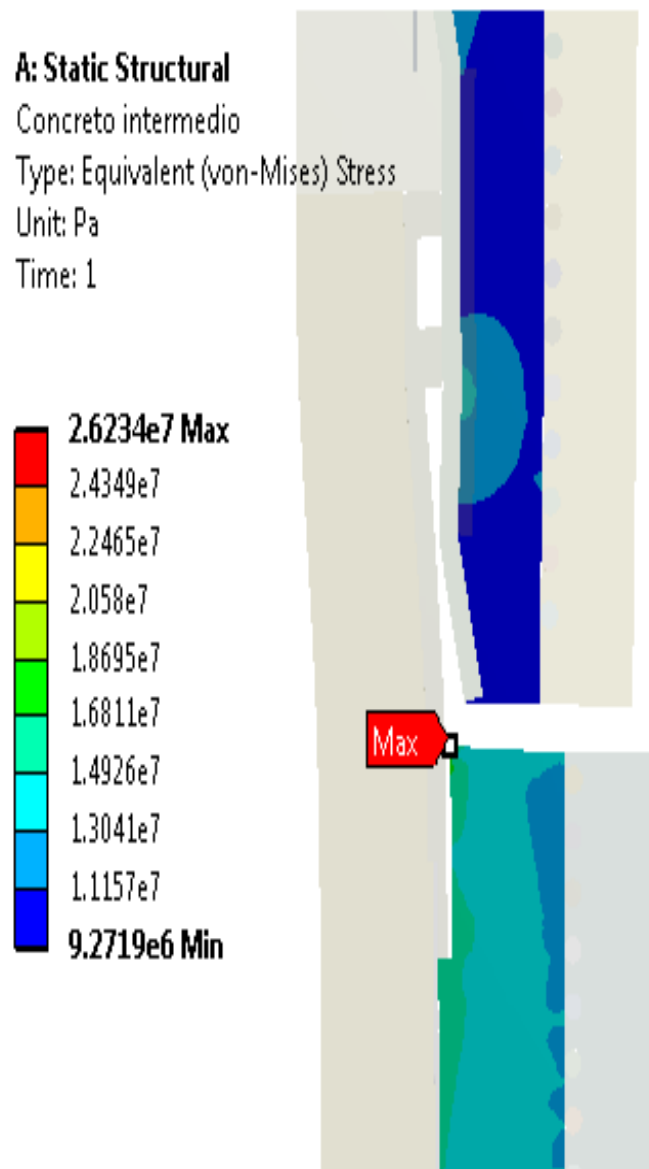


Figura 3. 8 Esfuerzo máximo en concreto interior en el enchufe de la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero.

La (Figura 3.9) muestra el esfuerzo máximo de Von Mises en la parte del acero de la extremidad espiga.

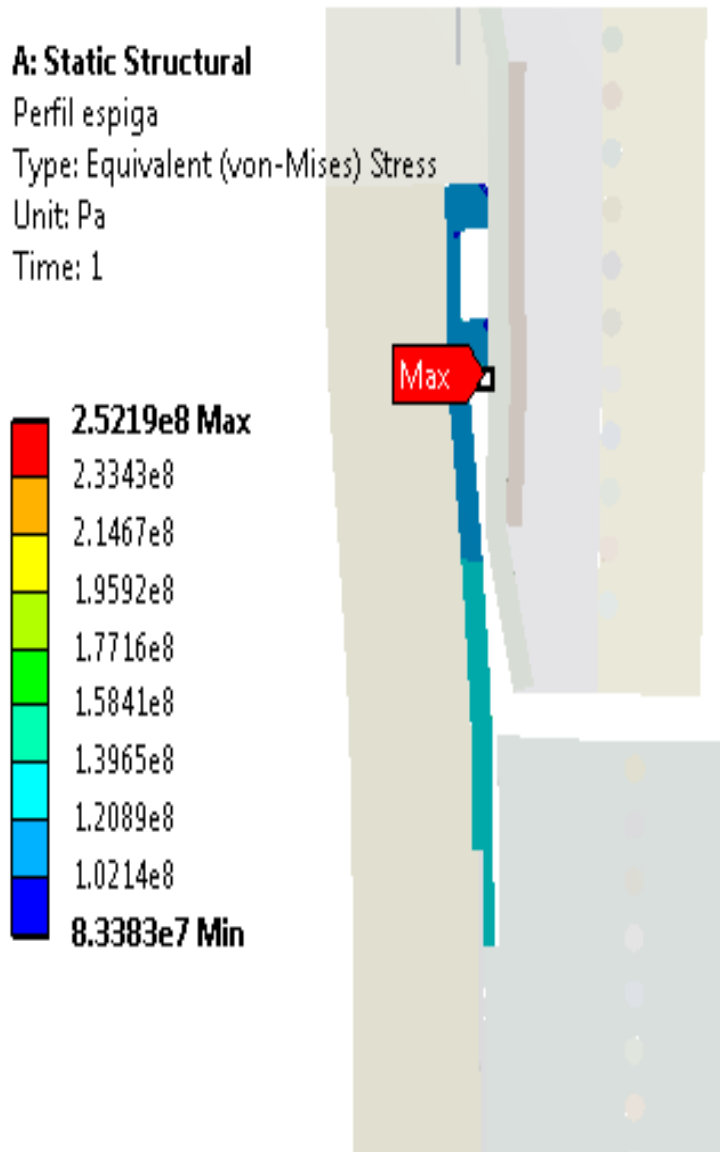


Figura 3. 9 Esfuerzo máximo en extremidad espiga en enchufe de tubo de concreto pretensado con cilindro de acero.

La parte del perfil campana se comporta de la siguiente manera con respecto al esfuerzo máximo de Von Mises (Figura 3.10).



Figura 3. 10 Esfuerzo máximo en perfil campana del tubo enchufado de concreto pretensado con cilindro de acero.

El esfuerzo máximo de Von Mises en el refuerzo de la extremidad campana se muestra en la (Figura 3.11).

A: Static Structural

Refuerzo de campana

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: Pa

Time: 1

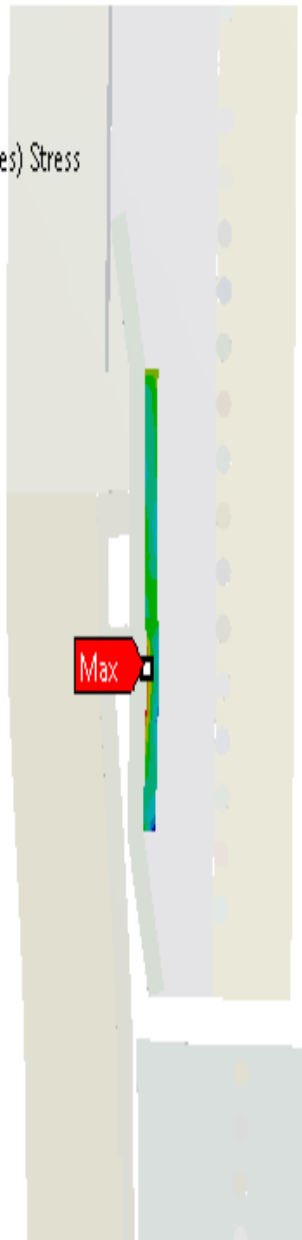
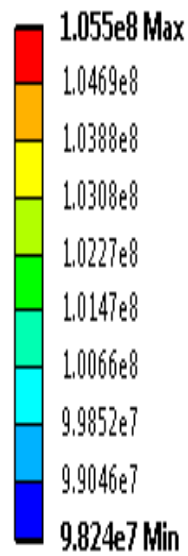


Figura 3. 11 Esfuerzo máximo en perfil campana del tubo enchufado de concreto pretensado con cilindro de acero.

En la (Figura 3.12) muestra el valor máximo de Von Mises en el acero de presfuerzo del tubo corto.

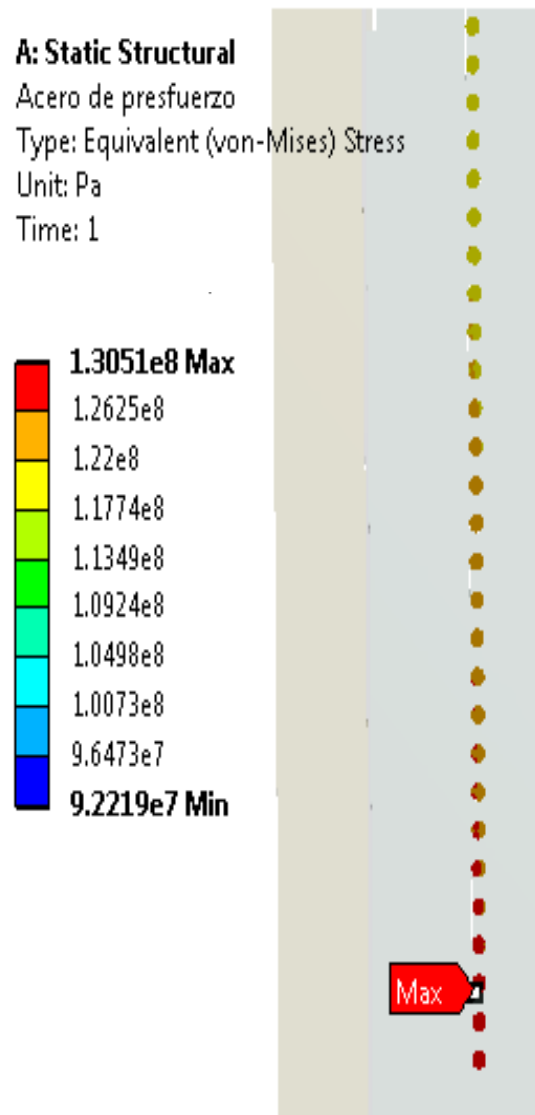


Figura 3. 12 Esfuerzo máximo de Von Mises en el acero de presfuerzo del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero enchufado.

La parte del revestimiento del tubo arroja los siguientes valores de esfuerzo máximo de Von Mises ver (Figura 3.13).

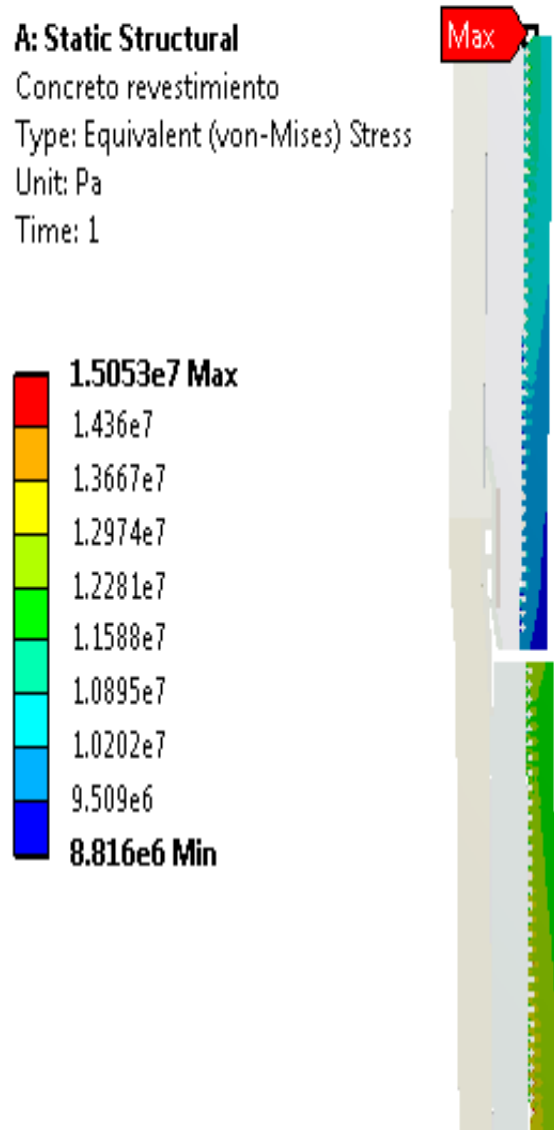


Figura 3. 13 Esfuerzo máximo de Von Mises en concreto de revestimiento de tubo de concreto pretensado con cilindro de acero enchufado.

Capítulo 4 Propuestas de diseño de tubería concreto.

4.1 Propuestas de diseño de tubería de concreto y sus análisis con diferentes pasos de acero de presfuerzo.

En este capítulo se analiza las propuestas de diseño de la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero, tomando en cuenta la norma ANSI/AWWA C301 haciendo énfasis en el acero de presfuerzo tomando como base la tabla existente de los pasos de zunchado ya que esto depende de la apertura y cierre de la máquina que realiza esta actividad por lo que se analiza el tubo completo sin enchufe y la simulación de enchufado los tubos, para este desarrollo se realizaron cinco análisis y así poder tomar la mejor opción a continuación se describirán cada uno de estos análisis.

4.2 Análisis sin acero de presfuerzo

El primer análisis se realiza tomando solo la parte del núcleo el cual consta de concreto interior, cilindro de acero y concreto intermedio sin la colocación del acero de presfuerzo obteniendo así los siguientes datos en la (Figura 4.1) se demuestra la deformación total que se tiene en el núcleo.

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

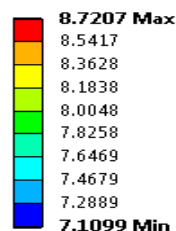


Figura 4. 1 Deformación total del análisis del núcleo del tubo de concreto pretensado sin cilindro de acero sin zunchado.

Así mismo en la (Figura 4.2) se muestra los esfuerzos de Von Mises que se obtuvieron en el núcleo además que se muestra la zona en la que se encuentra el esfuerzo máximo.

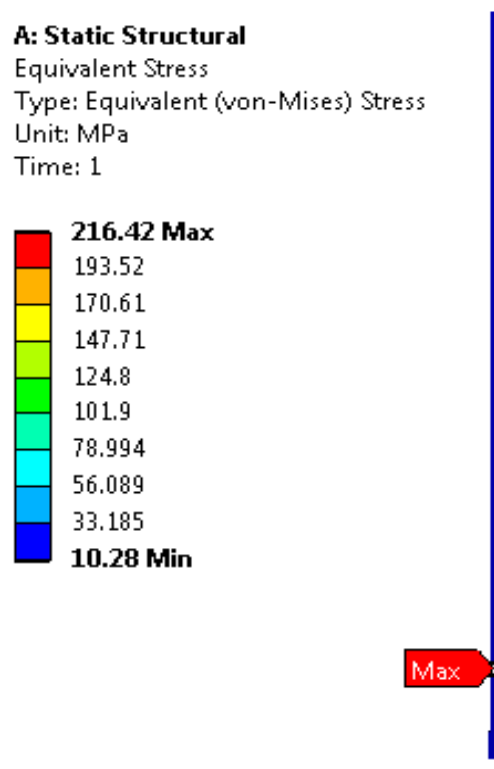


Figura 4. 2 Esfuerzo máximo de Von Mises en el núcleo del tubo de concreto pretensado sin cilindro de acero sin zunchado.

También se realiza el estudio del enchufe entre los tubos cortos como se ha mencionado en el capítulo anterior y en la (Figura 4.3) se muestra la deformación total que hay en los núcleos ya enchufados.

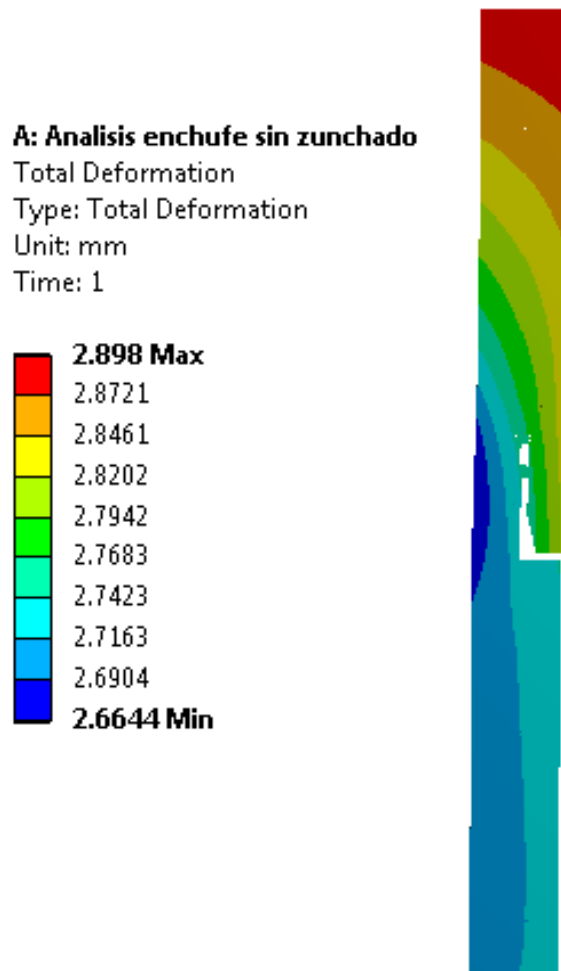


Figura 4. 3 Deformación Total en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero sin zunchado

A continuación en la (Figura 4.4) se muestran los esfuerzos de Von Mises en el enchufe de los núcleos de tubería, obteniendo los siguientes valores máximos y mínimos.

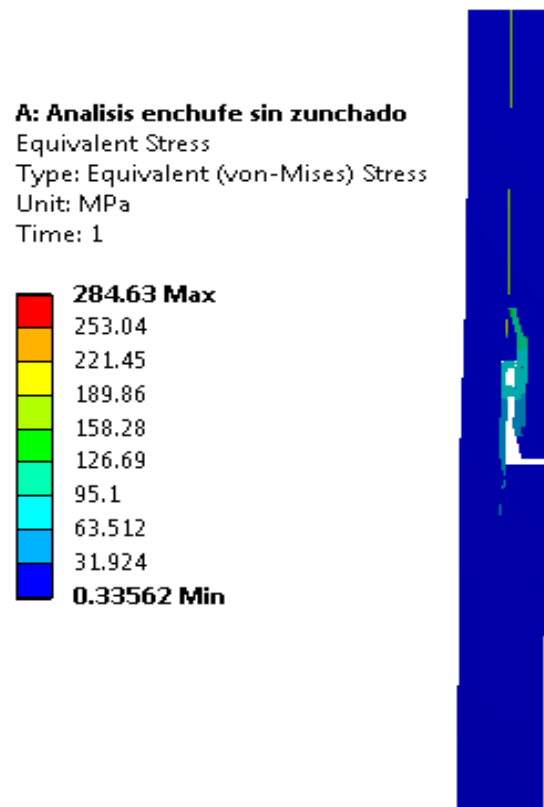


Figura 4. 4 Esfuerzos máximos de Von Mises en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero sin acero de presfuerzo.

4.3 Análisis con paso de acero de presfuerzo de 12 mm

Ahora se presenta el segundo análisis en estudio el análisis con acero de presfuerzo y un paso del alambre de 12 mm entre espiras y se obtienen los siguientes resultados de deformación y esfuerzos máximos y mínimos se muestran en las (Figuras 4.5 y 4.6).

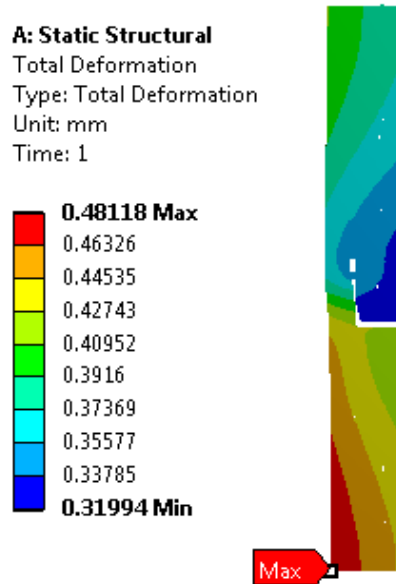


Figura 4. 5 Deformación total en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero de acuerdo a los valores de la propuesta de 12 mm.

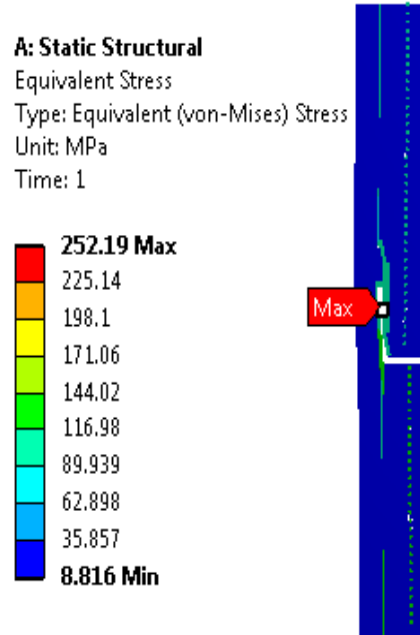


Figura 4. 6 Esfuerzo máximo de Von Mises del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 12 mm.

4.4 Análisis con paso de acero de prefuerzo 24 mm

Los resultados que se obtuvieron en el análisis con un paso de acero de prefuerzo de 24 mm lo muestran las siguientes (Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

A: Analisis paso 24 m m

Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1

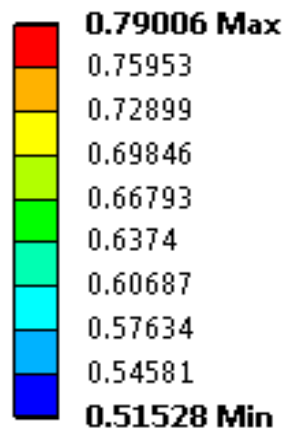


Figura 4. 7 Deformación total en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 24 mm.

A: Analisis paso 24 m m

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

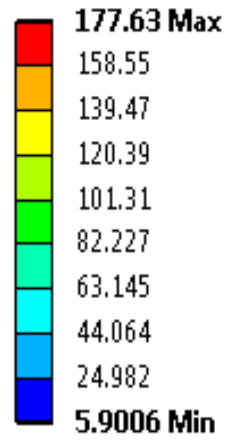


Figura 4. 8 Esfuerzo máximo de Von Mises del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 24 mm.

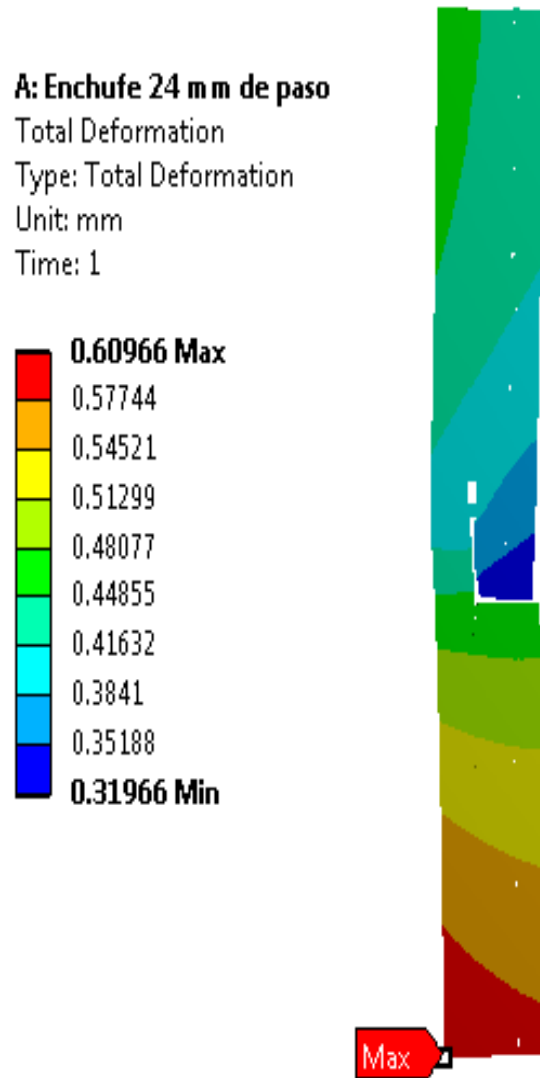


Figura 4. 9 Deformación total en enchufe de tubería de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 24 mm.

A: Enchufe 24 m m de paso

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

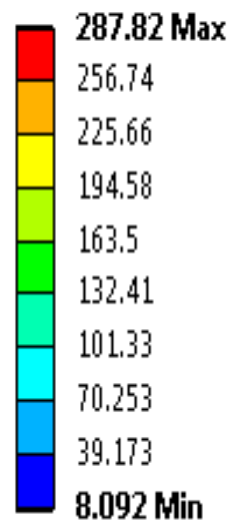


Figura 4. 10 Esfuerzo máximo de Von Mises en enchufe de tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre 24 mm.

4.5 Análisis con paso de acero de presfuerzo 36 mm

En las siguientes (Figuras 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14) se muestran los resultados obtenidos en el análisis de la tubería con un paso de 36 mm.

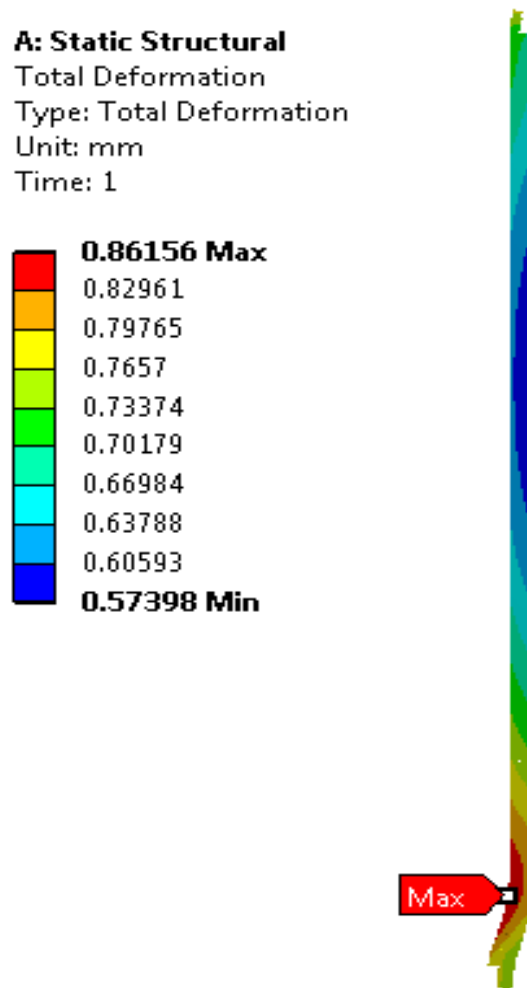


Figura 4. 11 Deformación total en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 36 mm.

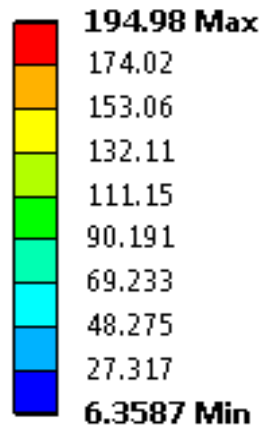
A: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1



Max



Figura 4. 12 Esfuerzo máximo de Von Mises en el tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 36 mm.

A: Analisis 36 m m de paso

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

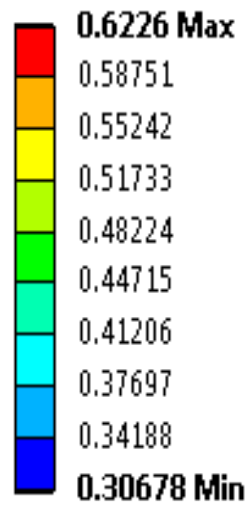


Figura 4. 13 Deformación total en el enchufe de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre de 36 mm.

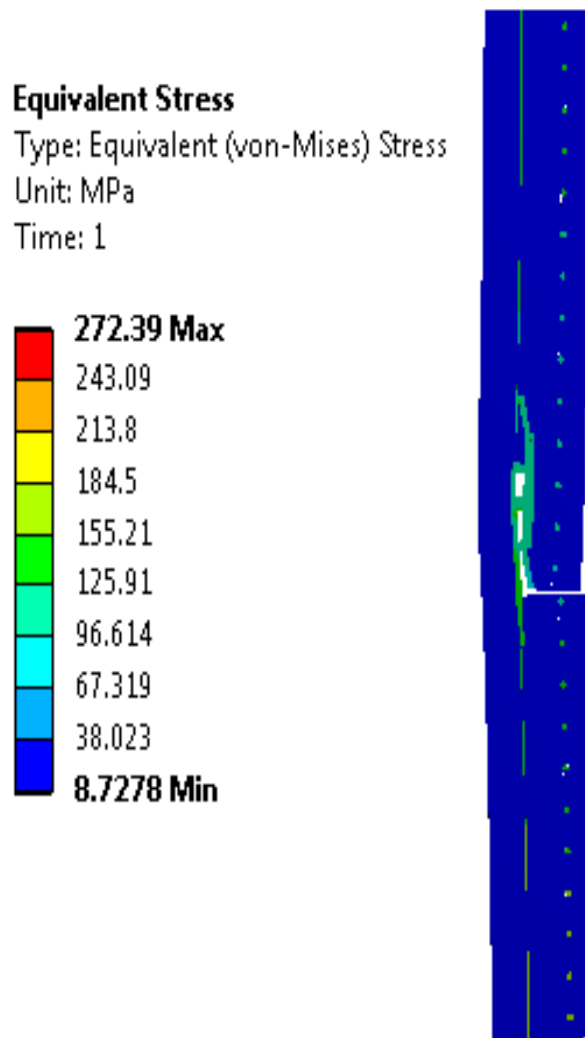


Figura 4. 14 Esfuerzo máximo de Von Mises en el enchufe de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de 36 mm.

4.6 Análisis con paso de acero de presfuerzo de 48 mm

Ahora se muestran en las (Figuras 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18) los valores del análisis con un paso de 48 mm.

A: Analisis paso 48 m m
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1

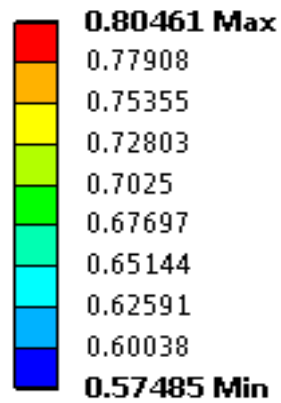


Figura 4. 15 Deformación total de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.

A: Analisis paso 48 m m

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

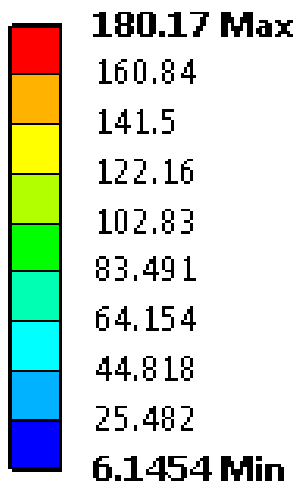


Figura 4. 16 Esfuerzo máximo de Von Mises del tubo de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.

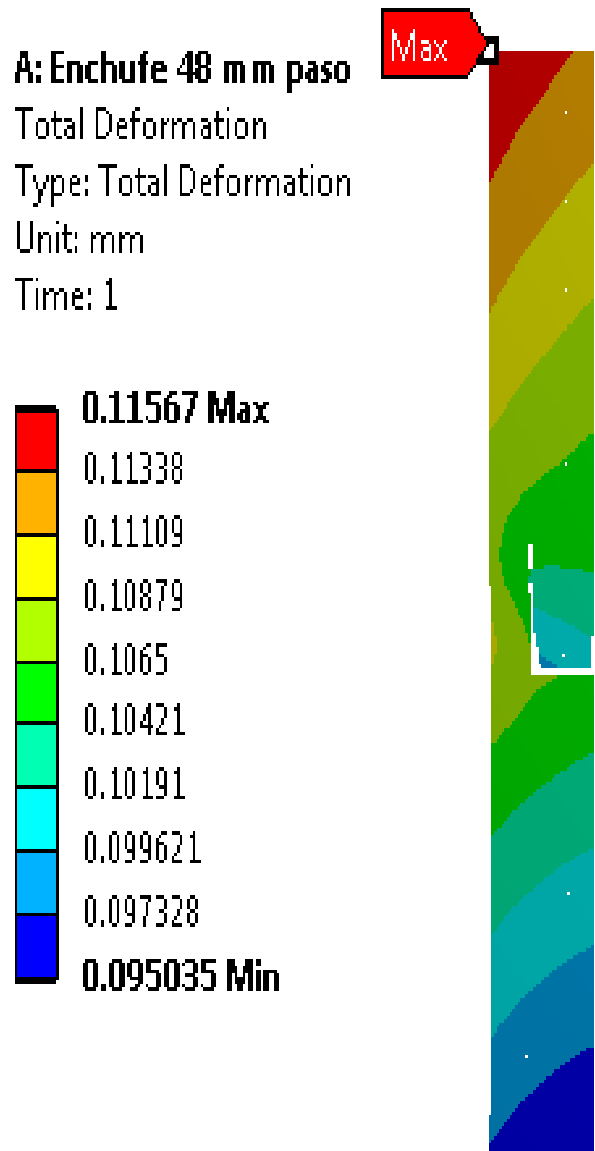


Figura 4. 17 Deformación total en el enchufe de la tubería de concreto pretensada con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.

A: Enchufe 48 m m paso

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

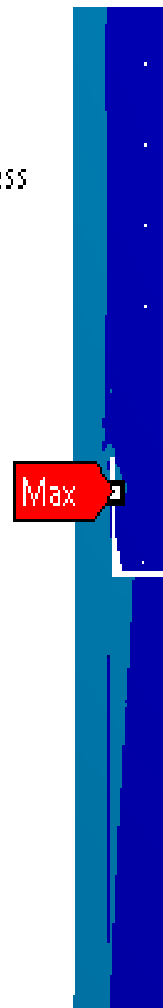
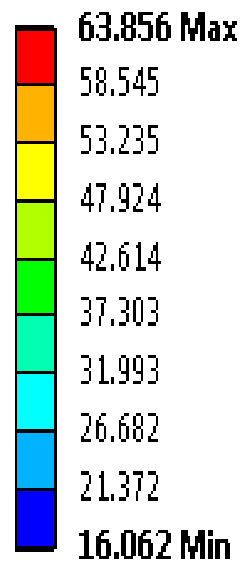
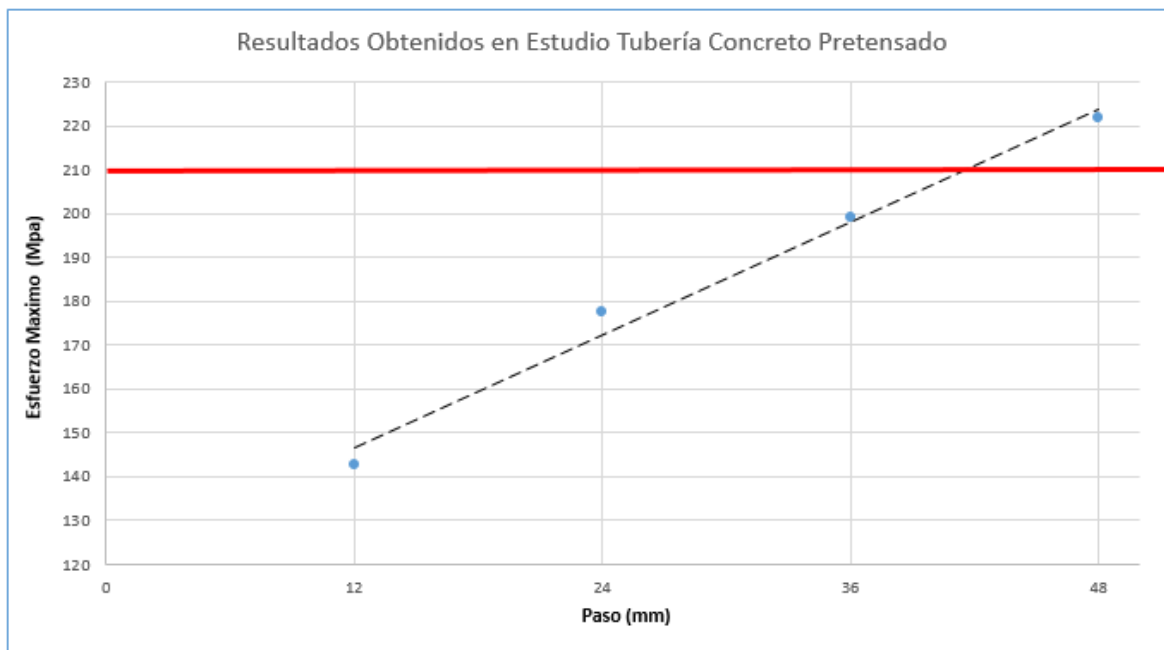


Figura 4. 18 Esfuerzo máximo de Von Mises en la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero con un paso de alambre de 48 mm.

[Regresar a Contenido](#)

En la siguiente (Grafica 1) se muestran las propuestas mencionadas anteriormente así como la tendencia de cada uno de los estudios que se llevaron a cabo encontrándose con valores muy relevantes en dichos análisis, el de mayor importancia es la disminución del acero de presfuerzo para dicho tubo obteniendo un ahorro económico de hasta un 37% menos de acero que en el diseño original.



Grafica 1 Resultados obtenidos del análisis de la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero con diferentes pasos de alambre de pretensado.

4.7 Conclusiones.

De acuerdo a la información que se ha realizado en este capítulo y en las cuatro propuestas de apertura de pasos en el acero de presfuerzo se obtiene datos muy interesantes a los cuales se llega a la conclusión que se puede obtener una optimización en la tubería de concreto pretensado con cilindro de acero en el acero de prefuerzo ya que este componente es uno de los más relevantes y en el cual se puede tener un ahorro muy importante para poder optimizar la tubería y así poder tener más competencia en el mercado con los demás productores de tuberías para agua potable altas presiones de diseño motivo por el cual las opciones más viables son la propuesta de 12 mm de paso de acero de presfuerzo en el cual se obtendría un ahorro de 14 % menos y si tomamos la apertura de paso de acero de presfuerzo a 36 mm se tendría un porcentaje del 37 % menos.

4.8 Referencias

[1] Revista Obras Publicas # 2829, año 1951, Tuberías de Hormigón Pretensado, Tomo I (2829):26-32.

http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=16630&anio=1951&numero_revista=2829.

[2] Video de Introducción de la Planta Compañía Mexicana de Concreto Pretensado COMECOP S.A de C.V.

[3] ANSI/AWWA C301-07, Tubo a Presión de Concreto pretensado con Cilindro de Acero, Fecha de vigencia 01 de Junio de 2007, primera edición aprobada por la junta directiva AWWA el 21 de Junio de 2007, aprobada por ANSI el 11 de Enero de 2007. ANSI/AWWA C304, Fecha de vigencia 01 de Noviembre de 2007, primera edición aprobada por la junta directiva AWWA el 18 de Junio de 1992, última edición aprobada el 21 de Enero y aprobada por ANSI el 11 de Enero de 2007.

[4] Páginas Web de la Tubería de Fibrocemento.

http://www.mexalit.com.mx/producto_tuberia_clase_a.html

http://www.mexalit.com.mx/producto_tuberia_clase_b.html

[5] Página Web de la Tubería de Acero.

http://www.itisa.com.mx/inicio-grupo_itisa/tumex/tuberia-helicoidal-tumex/

[6] Pagina Web Tubería de Hierro Fundido HF y Tubería de Hierro Dúctil HD.

<http://www.tuberiamoreno.com/productos/hidraulico/tuberia-de-hierro-ductil>

[7] Pagina Web Tubería de Concreto Pretensado con Cilindro de Acero.

http://comecop.com.mx/tub_concreto_pretensado.html

[8] ASTM A 1011/A1011 M Standard Specification for steel, Sheet and strip, Hot Rolled Carbon, structural, High strength Low alloy and High Strength Low Alloy with Improved Formability.

[9] ASTM A659/A659 M Standard Specification for Commercial Steel (CS), Sheet and Strip, Carbon (0.16 Maximim to 0.25 Maximum Percent), Hot Rolled.

[10] ASTM A1018/A1018M Standard Specification for Steel, sheet and strip _Heavy Thickness Coils, Hot Rolled, Carbon, commercial, Drawing, structural, High strength Low Alloy and High strength Low alloy with Improved Formability.

[11] ASTM A283/A283M Standard Specification for Low and Intermediate Tensile Strength Carbon Steel Plates.

[12] ASTM A 285/A285 M Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low –and Intermediate – Tensile Strengths.

[13] ASTM A36/A36M Standard Specification for Carbon Structural Steel.

[14] ASTM A663/A663M Standard specification for steel Bars, Carbon Merchant Quality Mechanical Properties.

[15] ASTM A 675/A675M standard Specification for steel Bars, Carbon Hot Wrought, Special Quelity Mechanical Properties.

[16] ASTM A575 Standard Specification for Steel Bars, Carbon, Merchant Quality M Grades.

[17] ASTM A 370 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of steel Products.

[18] ASTM A 568/A568 M Standard Specification for Steel, Sheet, Carbon and High-Strength Low Alloy, Hot rolled and Cold Rolled, General Requirements for.

[19] ASTM A635/A635 M Standard Specification for Steel Sheet and Strip, Heavy-Thickness Coils, Hot Rolled Carbon, Structural, High Strength Low Alloy, and High Strength Low Alloy with Improved Formability, General Requirements for.

[20] ASTM A648 standard Specification for Steel Wire, Hard Drawn for Prestresing Concrete Pipe.

[21] ASTM A615/A615 M Standard Specification for Deformed and Plain Billet Steel Bars for Concrete Reinforcement.

[22] ASTM A706/a706M Standard Specification for Low Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement.

[23] ASTM A27/A27 m Standard Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application.

[24] ASTM D412 Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers Tension.

[25] ASTM D395 Standard Test Methods for rubber Property Compression Set.

[26] ASTM D 573 Standard Test Methods for Rubber Deterioration in an Air Oven.

[27] ASTM D572 Standard Test Method for Rubber Dereriation by Heat and Oxygen.

[28] ASTM D2240 Standard Test Method for Rubber Property Durometer Hardness AWWA Manual M9 Concrete Pressure Pipe.

[29] ASTM C29/C29M standard Test Method for Bulk Density (unit Weight) and Voids in Aggregate.

[30] ASTM C172 Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.

[31] ASTM C31/C31M Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.

[32] ASTM C192/C192 M Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

[33] ASTM C39/C39M Stnadard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete specimens.

[34] ASTM C309 Standard Specification for Liquid Membrane Forming Compounds for Curing concrete.