**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica**

**Y Ciencias de la Producción**

**“Diseño de Tubería de Impulsión para Enlace de Estación de Bombeo Chongón con el Canal Chongón Sube y Baja**

**Provincia del Guayas”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Titulo de:**

**INGENIERO MECANICO**

**Presentado por:**

**Luis Alberto Vergara Calle**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2005**

**AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron con la realización de este trabajo hago un agradecimiento especial a mis hermanos, a mis amigos y al Ing. Manuel Helguero G. Director de Tesis, por su invaluableayuda

DEDICATORIA

A mis padres por su enorme sacrificio.

A mi esposa Mercedes por su estimulo, fe y sus infinitos esfuerzos por convertir nuestros sueños en realidad

A mis Hijos Maria de Lourdes Y Luis Alberto, los amo mucho.

**TRIBUNAL DE GRADUACION**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Eduardo Rivadeneira P. Ing. Manuel Helguero G.

DECANO DE LA FIMCP DIRECTOR DE TESIS

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Mario Patiño. .

VOCAL

**DECLARACIÓN EXPRESA**

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

( Reglamento de graduación de la ESPOL )

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Luis Alberto Vergara Calle

**RESUMEN**

El presente trabajo es consecuencia de la necesidad de obtener un diseño para la construcción de una tubería de impulsión que sirva de enlace de la estación de bombeo ubicada en la represa Chongón con el canal Chongón Sube y Baja. Para abastecer La Represa Azúcar que durante mucho tiempo estaba desprovista de agua por falta de lluvia, y la sequía de sus afluentes.

El conducto estará sometido a presiones internas provocadas por el arranque y parada de la estación Chongón, golpes de ariete y presiones externas debidas al proceso de inyección de cemento al momento de su fundición de la bifurcaron a la salida de las bombas, el resto del conducto esta expuesto.

Para cumplir con los requerimientos exigidos por la empresa contratante Norberto Odebrecht (CNO) Y la dueña del proyecto CEDEGE, es necesario aplicar las normas ASME, SHF, DIN, AWS, SSPC, AWWA.

El estudio parte del diseño realizado en conjunto por los ingenieros hidráulicos de CNO y del cuerpo de ingenieros de la empresa contratada para diseñar y construir esta parte del proyecto. Este diseño contemplaba la formación de tres cuerpos, tubería de impulsión, chimenea de equilibrio y una compuerta en la transición de descarga al canal, Chongón Sube y Baja.

* El primer cuerpo designado como numero 100 consistía en 2 tuberías de salida de las bombas formando un pantalón con la línea de impulsión d = 1600mm longitud L = 2.873m Hasta la compuerta de enlace con el canal.

El capitulo 2, contempla un análisis completo del diseño, basadas en las normas especificadas en el capitulo 1, en el que se selecciona el espesor optimo del conducto, la sección transversal de los rigidizadores y la distancia optima entre ellos y los apoyos deslizantes del tramo expuesto, también este capitulo contempla el diseño de la soldadura y el tipo de proceso a aplicar.

El capitulo 3, selecciona el sistema de pintura y acabado superficial que deberá tener el conducto para soportar las condiciones del medio en que se encuentra inmerso.

El capitulo 4, explica el tipo de inspección y pruebas que deberán realizarse tanto a la soldadura como a la pintura.

El capitulo 5 presenta un análisis del costo del material.

Finalmente se espera que este trabajo, presente resultados que sirvan como base en el diseño y construcción de estos tipos de sistema de conducción.

**INDICE GENERAL**

RESUMEN………………………………………………………………….. …….II

INDICE GENERAL………………………………………………………………..III

ABREVIATURAS………………………………………………………………….IV

SIMBOLOGIA……………………………………………………………………....V

INDICE DE FIGURAS………………………………………………………….....VI

INDICE DE TABLAS……………………………………………………………...VII

INDICE DE PLANOS…………………………………………………………….VIII

INTRODUCCION……………………………………………………………………1

**CAPITULO 1**

**1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**………………………………………..2

1.1 Breve historia de la presa Azúcar……………………………………….2

1.2 Análisis y especificación del problema……………………………........4

1.3 Análisis de las normas a utilizarse………………………………………4

1.4 Disposiciones especificas de las piezas del conducto………………..5

**CAPITULO 2**

**2. DISEÑO DEL CONDUCTO SOMETIDO A PRESIÓN**……………………..7

2.1 Características del diseño………………………………………………..7

2.2 Diseño de forma…………………………………………………………..8

2.3 Diseño de espesor de chapa del conducto…………………………...12

2.3.1 Calculo de espesor para presión interna………………………12

2.3.2 Calculo de espesor para presión externa……………………..17

2.4 Diseño de espesor de chapa de la chimenea de equilibrio…………45

2.4.1 Calculo de espesor para presión interna………………………...46

2.4.2 Calculo de espesor para presión expuesta…………………….. 49

2.5 Diseño de espesor de chapa de la chimenea de equilibrio………...57

2.5.1 Calculo de tensiones en las placas………………………………60

2.5.2 Calculo de vigas para igual carga hidrostática………………….66

2.6 Determinación de sección de platina de refuerzo del conducto……67

2.7 Diseño de Soldadura……………………………………………………67

**CAPITULO 3**

**3. ESPECIFICACIÓN TECNICA DE PINTURA Y ACABADO** **SUPERFICIAL**

* 1. 3.1 Preparación superficial…………………………………………………69
  2. 3.2 Sistema de pintura………………………………………………………72
  3. **CAPITULO 4**

**4. INSPECCION Y PRUEBAS**…………………………………………………...79

* 1. Generalidades……………………………………………………...........79
  2. Inspección y pruebas para la soldadura………………………...........79
  3. Inspección y pruebas para la pintura………………………………….80

**CAPITULO 5**

**5. ANALISIS DE COSTOS**………………………………………………………81

**CAPITULO 6**

**6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**…………………………........84

**APENDICES**

**BIBLIOGRAFIA**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ABREVIATURAS** | |  | |
| ASME | | | American Society Of Mechanical Engineers | |
| ASTM | | American Society Testing Materiales | | | |
| AWWA | | American Water Workers Association | | | |
| SSPC | | Steel Structure Painting Council | | | |
| SHF | | Societe Hydrotecnnique de France | | | |
| cm² | | centímetro cuadrado | | | |
| Kg | | Kilogramo | | | |
| daN | | deca-Newton | | | |
| m | | metros | | | |
| mm | | milímetros | | | |
| mca | | metro columna de agua | | | |

**SIMBOLOGIA**

|  |  |
| --- | --- |
| D | Diámetro de la tubería |
| R | Radio de la tubería |
| Y | Distancia del C.G del Refuerzo al eje neutro |
| K | parámetro del recipiente |
| C | Coeficiente de presión externa |
| Pcr | Presión critica |
| E | Modulo de elasticidad |
| LE | Limite elástico |
| LR | Limite de rotura |
| J | Momento de inercia del rigidizador |
| L | Distancia de placa colaborante Rigidizadores |
| Lr | Distancia entre Rigidizadores |
| P | Presión interna |
|  | Esfuerzo Critico de pandeo |
| i | Esfuerzos longitudinales y circunferenciales |
| mj | Coeficiente de rozamiento en la junta de dilatación |
| ma | Coeficiente de rozamiento en los apoyos |
| at | Coeficiente de dilatación lineal |
| vi | Ángulo de inclinación del conducto |
|  | Coeficiente de Poisson |
| g | Gravedad |
| Pt | Masa de la tubería |
| Pta | Masa de la tubería llena de agua |
| Ij | Longitud de tramo de tubería |
| Papk | Masa del Apoyo deslizante |
| Pjd | Masa de la junta de dilatación |
| nr | Cantidad de rigidizadores |
| Pr | Masa del rigidizador |
| At | Área Transversal del rigidizador |
| Pi | Presión Hidrostática de la chimenea |
| hi | Altura de carga al C.G del anillo (chimenea) |
|  | Densidad del agua |
| e | Espesor de la chapa |
| w | Peso especifico del agua |
| h | profundidad |
| qi | Presión causado por carga sísmica |
| Px | Esfuerzo cortante |
| Py | Esfuerzo Axial |
| Mz | Momento flector |
| Ixx | Momento de inercia del refuerzo (compuerta) |

**INDICE DE FIGURAS**

**Pag.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Figura | 1 | Tubo Pantalón------------------------------------------------------------- | 9 |
| Figura | 2 | Línea y ángulos del perfil longitudinal desde Mz0 al Mz5 | 10 |
| Figura | 3 | Detalles y forma de la chimenea Mz5 al Mz6 Hasta el Mz14 |  |
|  | canal Chongón Sube y Baja------------------------------------------- | 11 |
| Figura | 4 | Esquema de forma de la Tubería y apoyos------------------------ | 13 |
| Figura | 5 | Características geométricas del rigidizador de la tubería------ | 15 |
| Figura | 6 | Perfil Longitudinal, ángulos, datos de salida |  |
|  |  | de la Línea de impulsión------------------------------------------------ | 20 |
| Figura | 7 | Esfuerzos Longitudinales, y circunferenciales, de la |  |
|  |  | Línea de impulsión------------------------------------------------------ | 22 |
| Figura | 8 | Características geométricas del rigidizador |  |
|  |  | de la chimenea de equilibrio------------------------------------------- | 48 |
| Figura | 9 | Diagrama presión Hidrostática---------------------------------------- | 51 |
| Figura | 10 | Esfuerzos Axiales en la Chimenea de Equilibrio----------------- | 52 |
| Figura | 11 | Tensión de Trabajo en La Chimenea de Equilibrio-------------- | 53 |
| Figura | 12 | Distribución chapa de acero de la chimenea---------------------- | 56 |
| Figura | 13 | Diagrama presión hidrostática y efecto sísmico |  |
|  |  | en la compuerta vagón-------------------------------------------------- | 58 |
| Figura | 14 | Diagrama de presión acumulado en compuerta ----------------- | 62 |
| Figura | 15 | Diagrama de esfuerzos en los apoyos de la compuerta ------- | 66 |

**INDICE DE TABLAS**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  | **Pag.** | | |
|  | |  | |  |  | | |
| Tabla | | I | | Coeficientes de seguridad según SHF-------- | | | -----14 |
| Tabla | | II | | Coordenadas de la línea de impulsión--------- | | | -----20 |
| Tabla | | III | | Partículas para limpieza con chorro------------ | | | -----71 |
| Tabla | | IV | | Características de revestimientos--------------- | | | -----73 |

**INDICE DE PLANOS**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Plano | 1 | Implantación General: Línea Impulsión Mz0 - Mz4 |
| Plano | 2 | Implantación General: Línea Impulsión Mz4 - Mz5 |
| Plano | 3 | Plano general: Chimenea de equilibrio Mz5 - Mz6 |
| Plano | 4 | Implantación General: Línea Impulsión Mz6 - Mz7 |
| Plano | 5 | Implantación General: Línea Impulsión Mz7 - Mz11 |
| Plano | 6 | Implantación General: Línea Impulsión Mz11 - Mz13 |
| Plano | 7 | Implantación General: Línea Impulsión Mz13 - Mz14 |
| Plano | 8 | Chimenea de Equilibrio: Secciones Y Detalles |
| Plano | 9 | Tubería de Impulsión: Secciones y detalles |
| Plano | 10 | Compuerta Vagon:Secciones y detalles |

INTRODUCCION

Este proyecto comprende el diseño de piezas especiales para la tubería

de impulsión, de enlace de la estación de bombeo Chongón con el canal Chongón Sube y Baja, para abastecer de agua a la presa Azúcar, que corresponde al proyecto Trasvase Santa Elena Tramo I, conformado básicamente de conducto sometido a presiones internas y externas.

Estas presiones serán proporcionadas internamente por las bombas de impulsión de la estación de bombeo y externamente por la inyección del hormigón en el tramo a la salida de las bombas y en los macizos de anclaje en las curvas, el resto del conducto esta expuesto.

El diseño estará regido bajo los parámetros del código ASME (sección VIII, división 1), en el cual se exponen los siguientes puntos:

Selección de materiales

Diseño

Fabricación

Inspección

El diseño servirá de base para la construcción de los componentes, estos cumplirán con los requisitos exigidos por las normas como por CNO.

Previo a la entrega, los componentes estarán sometidos a un estricto control de calidad tanto en pruebas de soldadura como en pintura antes de salir del taller.

Para preparación de superficies y acabados se aplicaran las normas SSPC (Steel Structure Painting Council).

**CAPITULO 1**

**1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

* 1. **1.1 Breve Historia de la Presa Azúcar**

La Presa Azúcar esta ejecutada en la Península de Santa Elena al norte de Zapotal en una zona denominada Azúcar, inicialmente este embalse fue construido para la irrigación de la zona baja del Azúcar el mismo que no cumplió su propósito por la escasez de lluvias y la consecuente sequía de sus afluentes.

Esta fue construida en el periodo 1979 a 1983 por el hoy desaparecido Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

( INERHI ), debido a la necesidad de poner en operación esta represa, CEDEGE realiza una revisión del diseño de la misma, y obras anexas, para ello es necesario trasvasar agua de la represa Chongón al embalse Azúcar para lo cual se requiere el diseño de una estación de bombeo en la represa Chongón, para por medio de un conducto forzado llegue el agua hasta el canal Chongón Sube y Baja, y por medio de este llegar por gravedad como afluente de la presa Azúcar, sirviendo esta de pulmón para abastecer la irrigación de la zona baja del Azúcar, riego a través del canal Azúcar Río Verde, y también a la estación de bombeo de agua cruda ubicada en San Rafael para la planta de tratamiento de agua potable Atahualpa con capacidad 21000 m³ / día.

El costo de todas estas obras están alrededor de 125 millones de dólares incluido el costo de rehabilitación de la presa.

Con esta revisión se pretende anticipar el desarrollo de la zona sur este de la península en donde el embalse Azúcar es pieza fundamental para la irrigación de 6000 hectáreas de tierra fértil. Esto proveerá de una agricultura intensiva bajo riego, que permitirá desarrollar cultivos desde hortícolas a permanentes. Entre las localidades beneficiadas tenemos El Azúcar, San Rafael, Rió Verde, y otras más.

También las obras de desarrollo social como es el Agua Potable para los Cantones Santa Elena, Libertad, Salinas y todas sus comunidades.

**1.2 Análisis y Especificación del problema**

El problema surgió por la necesidad de implantar al enlace de la estación de bombeo con el canal, una tubería que cumpla con los requerimientos del diseño hidráulico, con el respaldo de normas y códigos poder seleccionar los espesores de la misma a través del cálculo, para que sus componentes soporten los esfuerzos a los que estarán sometidos y lo hagan con un factor de seguridad.

Entonces partiendo de esto se hace necesario un diseño mecánico, pues el diseño de forma predeterminado hidráulicamente aumentaba la zona de riesgo en los elementos curvos embebidos en los macizos siendo necesario analizar los esfuerzos en dichas zonas

**1.3 Análisis de las normas a utilizarse**

Como anteriormente se indico se exige el uso riguroso de las normas que puedan sostener los cálculos que se realizan.

Es necesario entonces que el proyecto se apoye en las normas ASME específicamente la sección 8, división 1, y SHF (Societe Hidrotecnnique de France – ed 1988) para la parte general, que permitirá obtener un modelo, el cual será la base para el análisis.

También se utilizara normas que permitan la adecuada preparación y acabado superficial como son las normas AWWA y SSPC, que establecerán los parámetros entre los cuales se pueden aplicar la pintura y realizar las debidas pruebas.

**1.4 Disposiciones especificas de las piezas del conducto**

Las piezas del conducto se construirán de acero estructural CO- SAR 55 basado en la norma ASTM A6 edición 1993B para la tubería, juntas de dilatación norma AISI, agujeros de hombre y tapones ASME sección 8 división 1 ed 1995. Los refuerzos cumplen con la norma ASME UG – 29, UCS – 29 y son de acero estructural CO - SAR 55, los rigidizadores serán externos al tubo, unidos a este según la norma UG – 30, que permitirá cordones de soldadura continuos ubicados en ambos lados del rigidizador tanto para el conducto como para la chimenea de equilibrio, para esta se utilizara acero estructural ASTM A -36 basado en la norma ASME de la sección 8 división 1.

El valor máximo de esfuerzo permitido estará evaluado de acuerdo a las normas UCS-23 dado en la sub-parte 1 de la sección 2 parte D, del código ASME, referente a los materiales a utilizarse para recipientes sometidos a presión

La compuerta de enlace con el canal se construirá con acero estructural ASTM – A36 basado en la norma DIN 19704 Ed. 1976

**CAPITULO 2**

**2. DISEÑO DEL CONDUCTO SOMETIDO A PRESION**

**2.1 Características del diseño**

El diseño esta dividido en tres partes importantes.

Diseño del cuerpo 100, que es el conducto de sección constante de diámetro 1600mm, el cual puede ser referido como un solo conducto de sección circular, de longitud 2,955m. Este cuerpo para efectos de diseño se a modelado en base a decretizaciones de volúmenes finitos de tal forma que se pueda obtener una aproximación hacia un modelo que es regido en base a las normas para el dimensionamiento parte general: SHF (Societe Hidrotecnnique de France – ed 1988), AISI, ASME ,sección 8 división 1. El número de volúmenes finitos estará en función de las curvas haciendo que el conducto se divida en tramos rectos entre los macizos de hormigón MZ1 al MZ14.

Diseño del cuerpo 200, el cual es una chimenea de equilibrio de sección circular de diámetro 7,500mm constante que permite modelar nuestro cuerpo bajo parámetros de las normas de diseño indicadas en el código ASME sección 8 apéndice 13.

Diseño del cuerpo 300, el cual es una compuerta vagón la misma que para su diseño estructural se rige a la norma DIN 19704 ed 1976 y ASME.

El diseño de soldadura será realizado en base a las normas UW. Todos los diseños están realizados para una presión externa de 0.9807 Kg / cm² (14 PSI) y Para una presión Interna variable en el conducto, la presión de la compuerta es calculada en base a la columna de aguas arriba de la compuerta.

**2.2 Diseño de forma**

El diseño de forma fue realizado por los ingenieros hidráulicos de CNO, los cuales proporcionaron las formas que se detallan a continuación.

El cuerpo 100 posee una forma especial a la salida de las dos bombas formando un pantalón de sección circular de diámetro 1000mm cada uno con el conducto de diámetro 1600mm, esta forma especial permite que el flujo de agua tome la forma del cuerpo reduciendo los efectos de impacto por medio de sus radios de curvatura. Figura :1.

**TUBO PANTALON**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Viene de la bomba 1 | |  | D = 1600mm mm |  |  | | FLUJO = 4.6m/Seg   |  | | --- | |  | |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | D = 1000mm |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | | Viene de la bomba 2 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | |  |  | **FIGURA : 1** |  |  |  | |  |  |  |  |  | |  | | --- | |  | |

De esta manera el cuerpo se unifica en su sección circular del conducto de 1600mm de diámetro constante volviéndose estable el flujo proporcionado por el caudal de las bombas, comenzando desde el macizo 0 hasta el macizo 5 con una longitud de 713m. Como se indica en la figura: 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | **Elev+41** |   **5603** | | | |  | | | |  | |  | |  | |  |  | |  |  |
|  | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
|  | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
|  | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
|  | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
| **O**  **Once Apoyos. Desliz. 10 espacios de 15.550 =155,500** **mm** | | | | | | | | | |  | | | | | **7438** | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
| **A´ 86.400 Mz1** | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | | **14132** | | |  | |
|  | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
|  | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
|  |  |  |  | |  |  |  | | **Mz3** | |  | |
| **MZ2** |  |  |  | |  |  |  | |  | |  | |
|  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  | |
| **6246** |  | **14 Apoyos. Desliz. 13 espacios de 15550 = 202.150** |  | |  |  |  | |  | | **9 Apoyos. Desliz. 8 espacios de 15550 = 124.400** | |
| **Junta de dilatación** | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |
| |  | | --- | | **Apoyo deslizante**  **elev.+58,15** | | | | | | | | | | | | | **elev.+92,00** | | | |  | | | | |  | | |  | | |  | | | **Elev+92,00** | | | | |  | |
|  | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | | | **4919** | | |  | | |  | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | |  | | | **Mz5** | | | |  | | |  | | |  | | | **Mz5** | | | **Mz5** | |  | | |
| **8 apoyos. Desliz. 7 espacios de 15.550 = 108.850** | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | |
| **v4 = 16°45´26"** | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | |
| **Mz4**  **3637** | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | |
| **FIGURA : 2** | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | |

Llegando al tanque de equilibrio, desde este continúa por gravedad aprovechando la carga dinámica del tanque por el conducto de 1600mm de diámetro desde el macizo 6 al macizo 14 con una longitud de 2141m. Llegando a la transición con el canal.

El conducto tiene 11 juntas de dilatación distribuidas 1 en cada tramo (entre los Macizos) estos absorben las dilataciones del conducto provocado por los cambios de temperatura; ΔT = 14 C° por estar expuesto; el conducto esta montado sobre 181 apoyos deslizantes, los mismos que permiten desplazamientos longitudinales mínimos causados por dilataciones y contracciones del material.

El cuerpo 200 el cual es un Tanque elevado ( Chimenea de Equilibrio Fig. 3 ) de sección circular de diámetro 7,500mm x 27,000mm de alto que actúa como amortiguador y compensador de carga provocados por el flujo del agua en el conducto antes y después del tanque en el arranque y parada de las bombas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  | | |  | **CHIMENEA DE EQUILIBRIO**  **40.000**  **27,00**  **1,60**  **2,40**  **1,60**  **ejm**  **7.5m** | | | | | |  |  | | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  |  | | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  |  | | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  |  | | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | | **27m** | |  |  | | |  | |  | |
|  | **Rigidizadores** | | |  | |  | |  | | |  |  | |  | |
|  | **Típico C/240cm** | | |  | |  | |  | | |  |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  |  | | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | **+92,00** | | |  | |  | |
| **Junta de** | |  |  | |  | |  | |  |  | | |  | |  | |
| **Desmontaje** | |  |  | |  | | **Elev+95,00.** | |  | **elev.** | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | |  | | | |  | | | |
|  | | **armado** |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| **Mz5** | | **13000** |  | |  | | **13000** | |  | | **Mz6** | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  | |  | |  | |  |  | |  | | **Canal de Enlace** | | | |  | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | | **elev.+ 112,97** | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | | **Mz14** | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | | **MZ14** | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | | **6690** | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | | **v9 = 10,148°** | | | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | | **10 apoyos. 9 espacios de 15.550 + 139.950.** | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |
| **Mz13** | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |
|  | |  | |  | | | **FIGURA : 3** | | | |  | |  | |  | | | |  | | |  | | |  | |
|  | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |

El cuerpo 300 el cual es la compuerta vagón colocado en la obra de enlace con el canal, es de forma rectangular de 1750mm x 3660mm con guías de acero para su deslizamiento vertical.

* 1. **Diseño de espesor de chapa del conducto (cuerpo 100 )**

El diseño será realizado en función de las normas para el dimensionamiento SHF – Societe Hidrotecnnique de France, ed -1988 que permiten el calculo de los máximos esfuerzos que soportan ductos o recipientes sometidos a presión interna como externa, los espesores de pared descritos aquí serán determinados por las respectivas formulas.

Debido a su sección constante el comportamiento no difiere al principio y al final del ducto, para lo cual se mantiene un espesor de chapa constante. Sin embargo será necesario verificar las secciones mas cargadas, para los casos de carga presión máxima de trabajo y presión de Test. en el taller, ya que las presiones de Test. Máximas para los tubos rectos son las mismas.

**2.3.1 Cálculo de esfuerzos para presión externa**

La tubería esta verificada sin considerar la participación del hormigón y por lo tanto la tubería embutida en el hormigón será considerada como expuesta.

La tubería tiene dos diámetros (1000mm tramo corto a la salida de las bombas y 1600mm del conducto en estudio), pero como el espesor de la tubería es lo mismo independiente del diámetro, vamos a verificar la tubería con diámetro 1600mm, siendo que los resultados obtenidos deberán ser aplicados para el diámetro 1000mm.

Para el cálculo de esfuerzos para el conducto sometido a presión externa ( 0.9807daN / cm²), como el conducto es de sección circular constante hacemos un volumen finito en este elemento para lo cual utilizamos las formulas del libro de Levin basado en la norma ASME sección 8 División 1 donde el espesor entra como dato, se trata que el conducto no supere los 6.3mm. (Fig: 4) que este a su vez permita hallar los esfuerzos máximos que soporta el conducto forzado.

Para el cálculo de esfuerzos en el conducto sometido a presión externa tendremos los siguientes parámetros de diseño:

**Longitud del conducto = 2954,9ml**



**Apoyo deslizante cada 15m**

**Apoyo** **deslizante cada 15m**

**Rigidizadores cada 5.5m**

**FIGURA : 4**

**Características de la tubería sometida a presión externa**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Presión externa (vació) absoluto | | | 0,9807 (daN/cm²) | |
| Espesor mínimo constructivo de anillos | | | 6,3 mm | |
| Coeficiente para presión externa C: | | | 2 | |
| presión critica admisible Pcr: | | | 1,96 (daN/cm²) | |
| Radio interno de la tubería R: | | | 80 cm. | |
| Modulo de elasticidad de la tubería E: | | | 2060100 (daN/cm²) | |
| Coeficiente de Poisson  : | | | 0.3 | |
| Material de la tubería Y rigidizadores | | | CO-SAR55 | |
| Limite elástico LE | | | 3750 daN/cm² | |
| Limite de rotura LR | | | 4500 daN/cm² | |
| Tensiones admisibles los rigidizadores | | | 2205.882 daN/cm² | |
| Coeficiente de seguridad sobre el limite elástico | | | 1.7 | |
| **Coeficientes de seguridad según SHF** | | | | |
| Caso de carga | | Tubería | Tubería | Piezas |
| Expuesta | embutida | Especiales |
| 1 | Presión interna | 1,7 | 1,5 | 1,8 |
| 2 | Presión externa | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| 3 | Presión inyección |  | 2 | 2 |
|  | de grauting |  |  |  |
| 4 | Efecto sísmico con | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
|  | tubería bajo presión |  |  |  |
| 5 | Test. Hidrostático | 1,3 | 1,3 | 1,3 |

**TABLA : I**

Para continuar el cálculo de esfuerzos se debe verificar si hay la necesidad de proveerse rigidizadores en la tubería:

Con la formula para presión crítica de pandeo de la tubería por su propio peso, sin rigidizadores:

0.25 3

P = -----------.E. (e/R) = 0.28 ≤ 0.98 (daN/cm²) **(2.1)**

2

1 – 

Entonces se concluye que la tubería necesita de rigidizadores. Siendo necesario calcular las características geométricas del rigidizador y chapa asociada. Usando la formula (2.2)

L = 1,56. R . e + e = 11.70 cm. **(2.2)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | |  | |  | **er** |
|  |  |  |  |
|  | **hr** |  |  |
|  | **e** |  |  |
|  | **FIGURA: 5** | **LR** | **L** |
|  |  |  |  |

Altura del rigidizador hr : 8.5 cm

Espesor del rigidizador er : 0.63 cm

Momento de inercia del conjunto J : 97,13 cm4

Con la formula (2.3) determinamos la distancia máxima entre rigidizadores LR:

3.E.J

LR ≤ ------- = 597.78 cm adoptamos LR = 550.00cm **(2.3)**

3

R .PCR

Se procede a verificar la presión crítica de pandeo para la tubería entre rigidizadores aplicando (2.4)

3

P = K . E . (e / 2 . R) = 2.01 ≥ PcR = 1.96 (dan/cm2) **(2.4)**

Donde el valor de K viene del ábaco de Sturm, siendo 16

**Evaluación:**

P = 2.01 ≥ PcR = 1.96 (dan/cm²), entonces cumple.

Para el cálculo de la presión critica de pandeo en el refuerzo y tensión en el refuerzo debido a la presión externa, es necesario calcular algunos coeficientes de la tubería:

A .  . ( 1 + 

m = ------------------- = 0.769266

4 . e

1.285

----------- = 0.181004

R . e

-.a

= e . (sin  . a + cos  .a) = 1

donde A = área del rigidizador = 5.36cm2

a = distancia entre rigidizadores adyacentes (para rigdizador doble) = o aplicamos la fórmula (2.5) para calculo de la presión critica de pandeo en el refuerzo

3. Ej.

cr = ------------------- = 3203.93 daN/cm² **(2.5)**

2

R .At. (1+m)

At – área del rigidizador y la chapa asociada cm²

**Evaluación:**

3203.93 daN/cm² ≤ **LE** limite de elasticidad del material de

Refuerzo **3750** daN/cm²

Calculo de la tensión en el refuerzo con la formula (2.6)

Pext.R

= ---------- = 70.39 ≤ **LE** **/ 1.7 = 2206** daN/cm² **(2.6)**

e. (1+m)

Entonces cumple

* + 1. **Cálculo de espesor para presión interna**

Serán verificados las secciones mas cargadas para los casos de carga Presión máxima de trabajo, además se tienen otros esfuerzos que se calcularan tales como las tensiones longitudinales y circunferenciales para tubería expuesta., tensiones debido al roce en los apoyos, tensión debido a la presión y roce en las junta de dilatación, tensión debido a la flexión de los tubos entre los apoyos. Los rigidizadores se colocaran a un paso constante que ya fue seleccionado para presión externa, Lr = 550mm como se indica en la; figura: 4

Para el cálculo de esfuerzos en el conducto sometido a presión interna tomaremos en cuenta las secciones adyacentes al tubo pantalón, macizo 1, y el macizo 4; ver Figura: 2 tanto para presión de trabajo como para presión de prueba, estas secciones son las mas criticas si los resultados del calculo de esfuerzos cumple no es necesario analizar el resto del conducto donde la presión de trabajo es menor que en las secciones referidas. Tendremos los siguientes parámetros de diseño:

**Características de la tubería sometida a presión interna**

|  |  |
| --- | --- |
| Cantidad de la tubería | 1 |
| Diámetros internos; expuesta, embutido en el hormigón | 1600; f 1000mm |
| Longitud de la tubería | 2954,996m |
| Nivel eje de la tubería aguas arriba (lado del canal) | 112,996m |
| Nivel de la tubería aguas abajo (lado de la válvula) | 41,00m |
| Nivel de agua máximo en el canal | 114,00m |
| Nivel de agua máximo en la chimenea | 120,28m |
| Presión Hidrostática máxima (lado de la válvula) | 73 mca |
| Sobrepresión debido al golpe de ariete | 62 mca |
| Presión máxima de trabajo | 135 mca |
| Presión externa (vació) | 0.98 daN/cm². |
| presión critica admisible Pcr: | 1,96 daN/cm² |
| Caudal máximo en la tubería | 4,6 m³/seg. |
| Espesor de la tubería | 6,3 mm |
| Espesor de la chapa de la junta de dilatación | 0.95 cm. |
| Radio medio de la junta de dilatación Rejm | 80.48 cm. |
| Radio medio estopas de junta de dilatación Rejm | 81.75 cm. |
| Material de la tubería | CO-SAR 55 |
| Limite elástico LE | 3750 daN/cm² |
| Limite de rotura LR | 4500 daN/cm² |
| Tensiones admisibles en la tubería | 2205.88 daN/cm² |
| Tensiones admisibles en los rigidizadores | 2205.882 daN/cm² |
| Coeficiente de seguridad sobre el limite elástico | 1.7 |
| Coeficiente de roce en la junta de dilatación **j** | 0,6 |
| Coeficiente de roce en los apoyos (inox/ teflón) **a** | 0,1 |
| Coeficiente para presión externa C | 2 |
| Coeficiente de Poisson **** | 0.3 |
| Coeficiente de dilatación lineal **t:** | 0.000012 |
| Variación de temperatura para tubería embutida Δt | 10 (°C)3 |
| Modulo de elasticidad de la tubería E: | 2060100 (daN/cm²) |

Para calcular las tensiones de la tubería es necesario tener los valores de los ángulos vertical y horizontal de la línea de conducción, los mismos que son calculados utilizando la tabla dos. Estos están indicados en (**Figura: 6)**; juntó con los valores de salida de presión y las distancias de la tubería entre macizos.

**DATOS DE SALIDA PERFIL LONGITUDINAL Y ÁNGULOS**

Mz14

Mz11

Mz9

**CHIMENEA** DE EQUILIBRIO

0 A B Mzo

Mz1

Mz2

Mz3

Mz4

Mz5

Mz6

Mz7

Mz8

Mz10

**TRANSICION CANAL**

Mz13

Mz12

55.72mca

6.28mca

73.0mca

135mca

+41

+120.28

+114

+112

+92.0

**LADO DE LA BOMBAS**

FIGURA : 6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **punto** | **X (m)** | **Y (m)** | **Elevación** | **Distancia** | **Ref.** |
|  |  |  | **(m)** | **Al origen (m)** | **diseño** |
| O | 593109,63 | 9756624,87 | 41 | ----- | O |
| A | 593103,693 | 9756610,01 | 41 | ----- | A |
| A' | 593103,228 | 9756608,32 | 41 | 0 | A' |
| B' | 593072,174 | 9756616,89 | 41 | 32,21 | B' |
| ----- | ----- | ----- | 41 | 47,62 | M 0 |
| Macizo 1 | ----- | ----- | 52,94 | 71,06 | M 1 |
| Macizo 2 | ----- | ----- | ----- | 263,58 | M 2 |
| Macizo 3 | ----- | ----- | 53,97 | 476,57 | M 3 |
| Macizo 4 | ----- | ----- | 58,15 | 628,23 | M 4 |
| Macizo 5 | ----- | ----- | 92 | 740,65 | M 5 |
| C' | 592451,183 | 9756236,12 | 92 | 760,65 | C' |
| Macizo 6 | ----- | ----- | 92 | 780,65 | M 6 |
| Macizo 7 | ----- | ----- | 57,15 | 918,48 | M 7 |
| D' | 591951,096 | 9755960,83 | ----- | 1331,5 | M 8 |
| Macizo 9 | ----- | ----- | 61,2 | 1720,33 | M 9 |
| Macizo 10 | ----- | ----- | 63,172 | 2111,57 | M 10 |
| Macizo 11 | ----- | ----- | 65,14 | 2502,78 | M 11 |
| Macizo 12 | ----- | ----- | 85,65 | 2642,78 | M 12 |
| Macizo 13 | ----- | ----- | 85,95 | 2770,78 | M 13 |
| E' | 590807,201 | 9754892,23 | ----- | 2896,88 | E' |
| Macizo 14 | ----- | ----- | 112,97 | 2921,71 | M 14 |

Las formulas utilizadas para el calculo de los esfuerzos se

detallan a continuación

Evaluando las formulas mediante iteraciones sucesivas tenemos los siguientes resultados de las tensiones longitudinales y circunferenciales para tubería expuesta y tubería embutida en hormigón ver Figura: 7

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | **ESFUERZOS ONGITUDINALES Y CIRCUNFERENCIALES** | | | | |  |
|  | **DEL CONDUCTO** | |  | **Junta de Dilatación** |  |  |
| **Flujo    lujo**  **R**   |  | | --- | | **Apoyo deslizante** | |  |  |  |  |  |  |
|  | **Rigidizadores** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **Pta.sinvi** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **Pta.** |  |  |  |  |
|  |  |  | **Pta.cosvi** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | |  |  |
| **e = 6,3mm** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | **RJm** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Pta.** |  |  |  |  |  |  |
|  |  | **Rigidizador** | | **Junta de Dilatación** | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Sección Tubo y apoyo** | | |  |  |  |  |
| **deslizante** | | |  |  |  |  |

**FIGURA: 7**

**a) Tensiones longitudinales tubería expuesta:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Tensión debido al componente axial del peso propio de la tubería (** | |
| **Datos** | Pt . sin vi   . g (daN/cm²) **(2.6)**   . D . e . 10 |
| D= 2.R | diámetro interno (cm) |
| R = | radio interno de la tubería |
| vi = | ángulo de inclinación de la tubería con el plano vertical |
| g = | 9.81 (m/seg²) |
| Pt = | masa de la tubería comprendida entre la junta de dilatación y la sección de la tubería en estudio. (Kg) |
|  | .∑ (ej . Ij . Dj) + ∑ (nk . Papk ) + 1/2 . Pid +nr . Pr |
|  | 7850 (kg / m³) |
| Dj = | D + ej - diámetro promedio del tubo j (m) |
| Ij = | longitud del tubo (m) |
| ej = | espesor de la chapa del tubo j (m) |
| nk | cantidad de apoyos del tipo K |
| Papk = | masa del apoyo tipo K = 715 (Kg) |
| Pjd = | masa de la junta de dilatación = 1075 (Kg) |
| nr = | cantidad de rigidizadores del tubo j |
| Pr = | masa del rigidizador = 4,58 (kg) |

|  |  |
| --- | --- |
| **tensión debido al roce en los apoyos (2** | |
| **Datos** | Pta. cosvi  ag(daN/cm²) **(2.7)**   . D . e . 1 |
| Pta = | Masa de la tubería llena de agua, comprendida entre la junta de dilatación y la sección en estudio. (Kg) |
|  |  . D²  PtaPt + aag **(2.8)**  4 |
| a = | longitud de la tubería entre la junta de dilatación y la sección en estudio (m) |
|  ag = | 1000 ( Kg / cm3 ) |
|  |  |
| **tensión debido a la presión en la corona de la junta de dilatación (** | |
| **Datos** | Pj . ej . Rjm  (daN/cm²) **(2.9)**  R . e |
| Pj = | presión interna de trabajo junta de dilatación (daN /cm2 ) |
| **tensión debido al roce en la junta de dilatación** (**** | |
| **Datos** | I ej . Rejm  jPj(daN/cm²) **(2.10)**  e .R |
| Iej = | Ancho de las estopas (cm ) |
| **tensión debido a la flexión local ocasionada por el rigidizador (****** | |
| **Datos** | 1+  m P.R 4  .  - . ( ∑i) (daN/ cm² ) **(2.11)**  1+  1+m e i=1 |
|  | ancho de las estopas ( cm ) |
| , m, a | factores obtenidos anteriormente |
| P = | presión interna de la sección en estudio |
| OBS: | Signo +/- se refiere a fibras internas o externas del tubo. |
| **tensión debido a la flexión de los tubos entre los apoyos sobre el efecto de su peso propio (****6**) | |
| **Datos** | + M . cos vi  6 = - ------------------ (daN/cm²) **(2.12)**  2  R .e .  |
|  | Momento de flexión de los tubos entre los apoyos sobre el efecto del peso propio ( daN x cm ) |
| M = | como hipótesis conservadora consideramos para los momentos máximos en los apoyos y en el promedio del vano entre dos apoyos los valores indicados abajo |
| Map = | 0.106 . q .Iap2 ( daN x cm ) |
| Mm = | 0.078 . q .Iap2 ( daN x cm ) |
| q = | Pta . g  q = ----------- ( daN / cm )  Iap . 10 |
| Iap = | distancia entre apoyos ( cm ) |
| **Datos** |  4  i ∑ + 6 ; i L (daN/cm²) **(2.13)**  i=1 |
| **tensiones longitudinales región de los rigidizadores (12)** | |
| **Datos** |  4  12 ∑i (daN/ cm²) **(2.14)**  i=1) |
| L | 12 + 56 (daN / cm²) |

**b )Tensiones circunferenciales tubería expuesta:**

|  |  |
| --- | --- |
| **Tensión en el tubo fuera de la región del rigidizador (****7)** | |
| **Datos** |    P . R  (daN/cm²) **(2.15)**  e |

|  |  |
| --- | --- |
| **Tensión en el tubo en la región del rigidizador (****8)** | |
| **Datos** | P . R 12 . m  5 (daN/ cm²) **(2.16)**  e.( 1 +m ) 1 +m |
|  | |
| **Tensión en el rigidizador (****9)** | |
| **Datos** | P . R 8   (daN/cm²) **(2.17)**  e.( 1 +m ) 1 +m |
|  | |
| **Tensiones de comparación (****comp1), (****comp2)** | |
| **Datos** | **comp1 = (****7)2 +(****L1)2 - (****7).(****L1) ½ (2.18)**  **comp2 = (****8)2 +(****L2)2 - (****8).(****L2) ½ (2. 19)** |

**c )Tensiones longitudinales tubería embutida en hormigón:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **tensión debido al efecto de Poisson (** | | |
| **Datos** |  P . R  (daN/cm²) **(2.20)**  e | |
| **tensión debido a la variación de la temperatura** (**** | | |
| **Datos** | t .E ΔtdaN/cm2) **(2.21)** | |
| **tensión longitudinal en la región del rigidizador (****i** | | |
| **Datos** | i**** (daN/cm²) **(2.22)**  L****i (daN/cm²) | |
| **tensión longitudinal fuera de la región del rigidizador (****i** | | |
| **Datos** | | L****idondei****(daN/cm²) **(2.23)** |
|  | | ancho de las estopas ( cm ) |
| , m, a | | de las formulas (2.5), (2.6), (2.7) |
| P = | | presión interna de la sección en estudio |
| OBS: | | La señal +/- se refiere a las fibras internas o externas del tubo. |

**d) Tensiones circunferenciales tubería embutida en hormigón:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tensión fuera de la región del rigidizador (****7)** | | |
| **Datos** |    P . R  (daN/cm²) **(2.24)**  e | |
| **Tensión en la región del rigidizador (****8)** | |
| **Datos** | P . R 12 . m  5 (daN/cm2) **(2.25)**  e.( 1 +m ) 1 +m |
| **Tensión en el rigidizador (****9)** | |
| **Datos** | P . R 8   (daN/cm2) **(2.26)**  e.( 1 +m ) 1 +m |
|  | |
| **Tensiones de comparación (****comp1), (****comp2)** | |
| **Datos** | ½  **comp1 = (****7)2 +(****L1)2 - (****7).(****L1) (2.27)**  ½  **comp2 = (****8)2 +(****L2)2 - (****8).(****L2) (2.28)** |

Por las mismas razones del ítem 2.3.1 vamos a verificar solamente la tubería con 1600mm a más de los parámetros establecidos anteriormente es necesario verificar datos de la presión interna de la tubería para la sección en estudio tal como se detalla:

**e ) Cálculo de la presión interna de la tubería (trabajo normal)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Cálculo de la sobrepresión debido al golpe de ariete entre el punto “O “ y el punto “C “ (Chimenea) ref: figura 6** | |
| ∑ L1tramos | 785.69m |
| ΔH1 = | (135 – 73) – (120.28 – 114) = **55.72mca** |
| g1 = | Arctang ΔH1 / ∑ L1tramos = 4,0565° |
| ΔP1 = | Tang g1 . Li |

|  |  |
| --- | --- |
| **Cálculo de la presión entre el punto “C “ y el punto M14 (Canal de enlace) ref: figura 6** | |
| ∑ L2tramos | 2169.31m |
| ΔH2 = | (120.28 – 114) = **6.28mca** |
| g2 = | Arctang ΔH2 / ∑ L2tramos = 0.16587° |
| ΔP2 = | Tang g2 . Li |

|  |  |
| --- | --- |
| **Cálculo de la presión por tramos entre los puntos M14 y C´**  **Pi = Pi – 1 + tgg2Li + sinviLi . Ref. figura: 6** | |
| Tramo | P = 1,03 + 0.17791Li |
| M14 – M13 | 1,03 ≤ P ≤ 28.49mca |
| Tramo | P = 28.49 + 0.00523Li |
| M13 – M12 | 28.49 ≤ P ≤ 29.16mca |
| Tramo | P = 29.16 + 0.14775Li |
| M12 – M11 | 29.16 ≤ P ≤ 50.07mca |
| Tramo | P = 50.07 + 0.00794Li |
| M11 – M7 | 50.07 ≤ P ≤ 62.65mca |
| Tramo | P = 62.65 + 0.24221Li |
| M7 – M6 | 28.22 ≤ P ≤ 62.65mca |
| Tramo | P = 28.22 +0.00289Li |
| M6 – Mc´ | 28.22 ≤ P ≤ 28.28mca |

|  |  |
| --- | --- |
| **Cálculo de la presión por tramos entre los puntos “O” y C´**  **Pi = Pi – 1 + tgg1Li + sinviLi** | |
| Tramo | P = 28.28 + 0.071Li |
| C’ – M5 | 28.28 ≤ P ≤ 29.70mca |
| Tramo | P = 29.70 + 0.3593Li |
| M5 – M4 | 29.70 ≤ P ≤ 71.89mca |
| Tramo | P = 71.89 + 0.09855Li |
| M4 – M3 | 71.89 ≤ P ≤ 86.84 |
| Tramo | P = 86.84 + 0.07354Li |
| M3 – M1 | 86.84 ≤ P ≤ 116.66mca |
| Tramo | P = 116.66 + 0.525Li |
| M1 – M0 | 28.2116.662 ≤ P ≤ 130.47mca |
| Tramo | P = 130.47 +0.071Li |
| M0 – O | 130.47 ≤ P ≤ 135.07mca |

**Tubería 1.6m adyacente al macizo M1- tubería expuesta**

|  |  |
| --- | --- |
| **Datos de entrada para la sección en estudio** | |
| Pt . sinvi . (g /10) = | 130 (daN) |
| Pta. cosvi .(g /10) = | 400339,00 (daN) |
| M . cosvi. = | -5.81E+06 (daN / cm²) |
| P = | 10,97 (daN / cm²) |
| Pj = | 9,76 (daN / cm²) |

Evaluando las formulas mediante iteraciones sucesivas tenemos los siguientes resultados de las tensiones longitudinales y circunferenciales para tubería expuesta y tubería embutida en hormigón

Los resultados del cálculo y los modelos matemáticos de los esfuerzos de la tubería se muestran a continuación

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | **COMPONENTE AXIAL DEBIDO AL PESO PROPIO** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |  | | --- | |  | | **-σ1 Compresión**  α | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | **TENSIÓN DEBIDO AL ROCE EN LOS APOYOS** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| **aso: a)**   |  | | --- | |  | | | | | | | | | | CASO (a) | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| R  **+σ2 Tracción** | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| CASO: (b) | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |  | | --- | |  | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| **-σ2 Compresión** | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | R |  | | | | | | | | | | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  | R = Componente de rozamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | **TENSIÓN DEBIDO A LA PRESIÓN EN LA CORONA DE LA** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | **JUNTA DE DILATACIÓN σ3** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | -S3 Co | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| |  | | --- | |  | | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | **-σ3 Compresión** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| R | | | | | | | | |  | R = Componente de rozamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| **TENSIÓN DEBIDO AL ROCE EN LA JUNTA DE DILATACIÓN** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | **Caso – a** | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| R   |  | | --- | |  | | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | **-σ4 Compresión** | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | **Caso - b** | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |  | | --- | |  | | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| **+σ4 Tracción** | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | **OCASIONADA POR EL RIGIDIZADOR** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | --- | |  | | | | | | | **Punto de Inflexión** | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | **T C T** | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Rigidizador | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | **Deformación Plástica de la Tubería** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | Fisuras por Tensión Punto de Inflexión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | T C   |  | | --- | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | Espesor de la tubería | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | C T | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | Corrugaciones por Compresión Rigidizador | | | | | | | | | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | T = Tensión | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | C = Compresión | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | |  | | --- | | +σ5 Fibras a tensión | | | | | | | |  | | | -σ5 Fibras a compresión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | | Eje neutro en | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | la chapa | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Eje neutro en | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | | +σ5 Fibras a Tensión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | la Chapa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | -σ5 Fibras a Compresión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | **TENSIÓN DEBIDO A LA FLEXIÓN DE LOS TUBOS ENTRE** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Deformación Elástica de la tuberia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | |  | |  |  | | |
| |  | | --- | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
| (a)  **Lap** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (b) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  | **Diagrama de Momento Flector** | | | | |  |  |  | | **0,65**  **Mm**  **Map**  **Map**   |  | | --- | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | A | B |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | A | B |  |  |  |  |  | |  |  |  | **Lap** |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  | **Lap/5** | **3/5Lap**  **Lap/5** |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  | **T** |  | **C** | **T** |  |  |  |  | |  | |  | | --- | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | **C** | **T** | **C** |  |  |  |  | |  |  | (a) |  |  | (b) |  |  |  |  | |  |  |  | **T= Tensión** | |  |  |  |  |  | |  |  |  | **C= Compresión** | | |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | **Seccionamiento** | | | **Seccionamiento** | | |  |  |  | |  | **A - A** | |  | **B - B** | |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | |  | | --- | |  | | Fibras Tensionadas | | | Fibras Comprimidas | | |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | **EN** |  |  |  | **EN** |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  | 0 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  | Fibras Comprimidas | | | Fibras Tensionadas | | |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | σLσσσσσσ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | |
| Vector de Tensiones en | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | |
| (-Compresión) o (+Tracción) Efectuar la sumatoria | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | |
| **TENSIONES CIRCUNFERENCIALES TUBERÍA EXPUESTA σ7** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| A   |  | | --- | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | |  | | **-σ7 Compresión** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| Sección A-A | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| **TENSIÓN EN EL TUBO EN LA REGIÓN DEL RIGIDIZADOR σ8** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |  | | --- | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |
| **TENSIÓN EN EL RIGIDIZADOR σ9** | | | | | | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | --- | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |
| |  | | --- | |  |   **TENSIONES DE COMPARACIÓN σL1** | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |  | | --- | |  |   σL1 | | | | | | | | |  | σ7 | | | | |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Igual   |  | | --- | |  | | S7  α | |  | | |  | |  | | σR | | | A | |  | | C | | |  | |  | |  | | |  | | σL1 | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σL1 = Tensión Predominante en Tracción o compresión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| α = Angulo de desviación entre los componentes por incidencia de | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Esfuerzos Cortantes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| Del diagrama de tensiones (Triangulo ABC) según la ley de los cosenos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| **(σR)² = (σ7)² + (σL1)² - 2,σ7.σL1.cos α** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| Según ensayos de Laboratorio a = 60° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| (σR)² = [(σ7)² + (σL2)² - σ8.σL2]½ = Scomp1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| El mismo caso para la tensión de comparación 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| **TENSIONES DE COMPARACIÓN σcomp2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | |  | | | | | | | |  | | --- | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σL2 | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| |  | | --- | |  | | | | | | | | | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | |  | | --- | | σ8 | |  | | |  | |  | | | α=60° | | σs8 |  | |  | | |  |  | | | σcomp2 | | | | | Igual |  | | |  | |  | | |  |  | | |  | |  | | |  | σL2 | | |  | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Scomp2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σcomp2 = [(σ8)² + (σL2)² - σ8.σL2]½ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |
| Para los demás casos se efectúa el análisis del mismo modo  Los resultados del cálculo se detallan a continuación. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | |  | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | |

**Tensiones Longitudinales:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | | 3 | | 4 | 5 | 6 |
| daN / cm2 | daN / cm2 | | daN / cm2 | | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |
| -0.41 | 126.42 | | -14.80 | | 60.79 | 1059.16 | -458.66 |
| -0.41 | -126.42 | | -14.80 | | -60.79 | 1147.86 | -458.66 |
| -0.41 | 126.44 | | -14.80 | | 60.81 | -1059.18 | -458.66 |
| -0.41 | -126.42 | | -14.80 | | -60.79 | -1147.86 | -458.66 |
| -0.41 | 126.46 | | -14.80 | | 60.83 | 1059.20 | 458.69 |
| -0.41 | -126.42 | | -14.80 | | -60.79 | 1147.86 | 458.70 |
| -0.41 | 126.48 | | -14.80 | | 60.85 | -1059.18 | 458.71 |
| -0.41 | -126.42 | | -14.80 | | -60.79 | -1147.86 | 458.72 |
| i1 | L1 | | i2 | | L2 |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | | daN / cm2 | | daN / cm2 |  |  |
| -286.66 | -286.66 | | 172.00 | | 772.41 |  |  |
| -661.08 | -661.08 | | -202.43 | | 486.77 |  |  |
| -286.66 | -286.66 | | 172.00 | | -1345.82 |  |  |
| -661.08 | -661.08 | | -202.43 | | -1808.94 |  |  |
| 630.65 | 630.65 | | 172.00 | | 1689.81 |  |  |
| 256.23 | 256.23 | | -202.43 | | 1404.08 |  |  |
| 630.65 | 630.65 | | 172.00 | | -428.51 |  |  |
| 256.23 | 256.23 | | -202.43 | | -891.63 |  |  |
| **Tensiones circunferenciales:** | | | | |  |  |  |
| 7 | 8 | | 9 | |  |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | | daN / cm2 | |  |  |  |
| 1393.02 | 1127.52 | | 596.16 | |  |  |  |
| 1393.03 | 1105.29 | | 599.93 | |  |  |  |
| 1393.04 | 492.03 | | 703.91 | |  |  |  |
| 1393.05 | 416.58 | | 716.70 | |  |  |  |
| 1393.06 | 1127.52 | | 596.16 | |  |  |  |
| 1284.23 | 1105.29 | | 599.93 | |  |  |  |
| 1393.08 | 492.03 | | 703.91 | |  |  |  |
| 1393.09 | 416.58 | | 716.70 | |  |  |  |
| **Tensiones de Comparación:** | | | | |  |  |  |
| comp1 | comp2 |  | |  | |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 |  | |  | |  |  |
| 1556.27 | 998.53 |  | |  | |  |  |
| 1816.16 | 959.48 |  | |  | |  |  |
| 1556.27 | 1647.88 |  | |  | |  |  |
| 1816.16 | 2049.23 |  | |  | |  |  |
| 1208.18 | 1490.46 |  | |  | |  |  |
| 1284.23 | 1281.09 |  | |  | |  |  |
| 1208.19 | 797.84 |  | |  | |  |  |
| 1284.23 | 1157.57 |  | |  | |  |  |

**Evaluación:**

Las tensiones son ≤ **2205.88** **daN/cm²** entonces cumple

**Tubería 1.6m adyacente al macizo M4- Aguas arriba**

|  |  |
| --- | --- |
| Datos de entrada para la sección en estudio | |
| Pt . sinvi . (g /10) = | 9405 (daN) |
| Pta. cosvi .(g /10) = | 243769,00 (daN) |
| M . cosvi. = | -5.55E+06 (daN / cm²) |
| P = | 9,83 (daN / cm²) |
| Pj = | 2,96 (daN / cm²) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tensiones Longitudinales:** | | |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |
| -29.70 | 76.98 | -4.49 | 18.44 | 670.31 | -438.37 |
| -29.70 | -76.98 | 4.49 | -18.44 | 715.51 | -438.37 |
| -29.70 | 76.98 | -4.49 | 18.44 | -670.31 | -438.37 |
| -29.70 | -76.98 | 4.49 | -18.44 | -715.51 | -438.37 |
| -29.70 | 76.98 | -4.49 | 18.44 | 670.31 | 438.37 |
| -29.70 | -76.98 | 4.49 | -18.44 | 715.51 | 438.37 |
| -29.70 | 76.98 | -4.49 | 18.44 | -670.31 | 438.37 |
| -29.70 | -76.98 | 4.49 | -18.44 | -715.51 | 438.37 |
|  |  |  |  |  |  |
| i1 | L1 | i2 | L2 |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |
| -377.15 | -377.15 | 61.23 | 293.16 |  |  |
| -567.98 | -567.98 | -129.60 | 147.53 |  |  |
| -377.15 | -377.15 | 61.23 | -1047.46 |  |  |
| -567.98 | -567.98 | -129.60 | -1283.49 |  |  |
| 499.60 | 499.60 | 61.23 | 1169.91 |  |  |
| 308.77 | 308.77 | -129.60 | 1024.28 |  |  |
| 499.60 | 499.60 | 61.23 | -170.71 |  |  |
| 308.77 | 308.77 | -129.60 | -406.74 |  |  |
|  | | |  |  |  |
| 7 | 8 | 9 |  |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |  |
| 867.30 | 699.28 | 371.63 |  |  |  |
| 867.30 | 687.95 | 373.55 |  |  |  |
| 867.30 | 297.10 | 439.83 |  |  |  |
| 867.30 | 258.65 | 446.35 |  |  |  |
| 867.30 | 699.28 | 371.63 |  |  |  |
| 867.30 | 687.95 | 373.55 |  |  |  |
| 867.30 | 297.10 | 439.83 |  |  |  |
| 867.30 | 258.65 | 446.35 |  |  |  |
| **Tensiones de comparación:** | | |  |  |  |
| comp1 | comp2 |  |  |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |  |  |
| 1105.24 | 608.22 |  |  |  |  |
| 1251.97 | 627.33 |  |  |  |  |
| 1105.24 | 1223.37 |  |  |  |  |
| 1251.97 | 1430.46 |  |  |  |  |
| 753.99 | 1019.60 |  |  |  |  |
| 761.42 | 904.31 |  |  |  |  |
| 753.99 | 410.03 |  |  |  |  |
| 761.42 | 580.98 |  |  |  |  |

**Evaluación:**

Las tensiones para tubería expuesta

Son ≤ 2205.88 daN/cm Entonces cumple.

**Tubería 1.6m adyacente al tubo pantalón**

|  |  |
| --- | --- |
| **Datos de entrada para la sección en estudio** | |
| Presión máxima de trabajo / Test. | 12,70 (daN / cm2) |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tensiones Longitudinales:** | | |  |
| 5 | 10 | 11 | i1 |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |
| 1273.36 | 483.81 | 247.21 | 731.02 |
| -1273.36 | 483.81 | 247.21 | 731.02 |
| 1273.36 | 483.81 | -247.21 | 236.60 |
| -1273.36 | 483.81 | -247.21 | 236.60 |
|  |  |  |  |
| L1 | i2 | L2 |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |
| 731.02 | 731.02 | 2004.39 |  |
| 731.02 | 731.02 | -542.34 |  |
| 236.60 | 236.60 | 1509.96 |  |
| 236.60 | 236.60 | -1036.77 |  |
| **Tensiones Circunferenciales:** | | |  |
| 7 | 8 | 9 |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |
| 1612.70 | 1388.87 | 676.01 |  |
| 1612.70 | 624.85 | 805.56 |  |
| 1612.70 | 1324.38 | 686.94 |  |
| 1612.70 | 560.36 | 816.49 |  |
| **Tensiones de Comparación:** | | |  |
| comp1 | comp2 |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |
| 1398.67 | 1778.40 |  |  |
| 1816.16 | 1011.66 |  |  |
| 1508.38 | 1426.25 |  |  |
| 1816.16 | 1403.51 |  |  |

**Evaluación:**

Resultados ≤ 2205.88 daN/cm2 entonces cumple.

**Tubería 1.6m adyacente al macizo M1- tubería expuesta** Identificación del caso de carga: (Presión máxima. Trabajo/Test. )

|  |  |
| --- | --- |
| Datos de entrada para la sección en estudio | |
| PT. sinvi . (g /10) = | 130 (daN) |
| PTA. cosvi .(g /10) = | 400339,00 (daN) |
| M . cosvi. = | -5.81E+06 (daN / cm2) |
| P = | 14,86 (daN / cm2) |
| Pj = | 14,81 (daN / cm2) |
| Coef. de seguridad sobre el limite elástico para el Test.. | 1,5 |
| Tensión admisible | 2500.00 (daN / cm2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tensiones Longitudinales:** | | |  |  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |
| -0.41 | 126.42 | -22.47 | 92.25 | 1443.56 | -458.65 |
| -0.41 | -126.42 | -22.47 | -92.25 | 1547.15 | -458.65 |
| -0.41 | 126.42 | -22.47 | 92.25 | -1443.56 | -458.65 |
| -0.41 | -126.42 | -22.47 | -92.25 | -1547.15 | -458.65 |
| -0.41 | 126.42 | -22.47 | 92.25 | 1443.56 | 458.65 |
| -0.41 | -126.42 | -22.47 | -92.25 | 1547.15 | 458.65 |
| -0.41 | 126.42 | -22.47 | 92.25 | -1443.56 | 458.65 |
| -0.41 | -126.42 | -22.47 | -92.25 | -1547.15 | 458.65 |
| i1 | L1 | i2 | L2 |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |
| -262.86 | -262.86 | 195.79 | 1180.69 |  |  |
| -700.20 | -700.20 | -241.54 | 846.96 |  |  |
| -262.86 | -262.86 | 195.79 | -1706.42 |  |  |
| -700.20 | -700.20 | -241.54 | -2247.35 |  |  |
| 654.44 | 654.44 | 195.79 | 2098.00 |  |  |
| 217.11 | 217.11 | -241.54 | 1764.26 |  |  |
| 654.44 | 654.44 | 195.79 | -789.11 |  |  |
| 217.11 | 217.11 | -241.54 | -1330.04 |  |  |
| **Tensiones Circunferenciales**: | | |  |  |  |
| 7 | 8 | 9 |  |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |  |
| 1886.98 | 1525.14 | 807.93 |  |  |  |
| 1886.98 | 1499.17 | 812.33 |  |  |  |
| 1886.98 | 659.01 | 954.79 |  |  |  |
| 1886.98 | 570.88 | 969.73 |  |  |  |
| 1886.98 | 1525.14 | 807.93 |  |  |  |
| 1886.98 | 1499.17 | 812.33 |  |  |  |
| 1886.98 | 659.01 | 954.79 |  |  |  |
| 1886.98 | 570.88 | 969.73 |  |  |  |
| **Tensiones de Comparación:** | | |  |  |  |
| comp1 | comp2 |  |  |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |  |  |
| 2031.21 | 1385.41 |  |  |  |  |
| 2317.61 | 1301.97 |  |  |  |  |
| 2031.21 | 2114.41 |  |  |  |  |
| 2317.61 | 2583.59 |  |  |  |  |
| 1659.54 | 1878.28 |  |  |  |  |
| 1778.34 | 1647.79 |  |  |  |  |
| 1659.54 | 1255.79 |  |  |  |  |
| 1778.34 | 1689.44 |  |  |  |  |

**Evaluación:** 2583.59 sobrepasa el valor admisible en solamente 3.2% .considerando que el Test. Será realizado una ves, ya que la tubería estaría sometida a la presión de prueba solamente durante las inspecciones de soldadura y estanqueidad y que esta tensión es puntual, concluimos que este valor es aceptable.

Identificación del caso de carga: (Presión máxima. Trabajo/Test.)

**Tubería 1.6m adyacente al macizo M4- aguas arriba.** Identificación del caso de carga: (Presión máxima. Trabajo / Test.)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Datos de entrada para la sección en estudio** | | | | | | | | | | |
| Pt . sinvi . (g /10) = | | | | 9405 (daN) | | | | | | |
| Pta. cosvi .(g /10) = | | | | 243769,00 (daN) | | | | | | |
| M . cosvi. = | | | | -5.55E+06 (daN / cm²) | | | | | | |
| P = | | | | 14.36 (daN / cm²) | | | | | | |
| Pj = | | | | 11.15 (daN / cm²) | | | | | | |
| Coef. De seguridad sobre el limite elástico para el Test.. | | | | 1,5 | | | | | | |
| Tensión admisible | | | | 2500.00 (daN / cm2) | | | | | | |
| **Tensiones Longitudinales** | | | |  | | |  | |  | |
| 1 | | 2 | 3 | 4 | | | 5 | | 6 | |
| daN / cm2 | | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | | | daN / cm2 | | daN / cm2 | |
| -29.70 | | 72.98 | -16.91 | 69.45 | | | 1416.16 | | -438.37 | |
| -29.70 | | -76.98 | -16.91 | -69.45 | | | 1485.53 | | -438.37 | |
| -29.70 | | 72.98 | -16.91 | 69.45 | | | -1416.16 | | -438.37 | |
| -29.70 | | -76.98 | -16.91 | -69.45 | | | -1485.53 | | -438.37 | |
| -29.70 | | 72.98 | -16.91 | 69.45 | | | 1416.16 | | 438.37 | |
| -29.70 | | -76.98 | -16.91 | -69.45 | | | 1485.53 | | 438.37 | |
| -29.70 | | 72.98 | -16.91 | 69.45 | | | -1416.16 | | 438.37 | |
| -29.70 | | -76.98 | -16.91 | -69.45 | | | -1485.53 | | 438.37 | |
|  | |  |  |  | | |  | |  | |
| i1 | | L1 | i2 | L2 | | |  | |  | |
| daN / cm2 | | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | | |  | |  | |
| -338.56 | | -338.56 | 99.81 | 1077.60 | | |  | |  | |
| -631.41 | | -631.41 | -193.04 | 854.12 | | |  | |  | |
| -338.56 | | -338.56 | 99.81 | -1754.72 | | |  | |  | |
| -631.41 | | -631.41 | -193.04 | -2116.94 | | |  | |  | |
| 538.19 | | 538.19 | 99.81 | 1954.35 | | |  | |  | |
| 245.34 | | 245.34 | -193.04 | 1730.87 | | |  | |  | |
| 338.56 | | 338.56 | 99.81 | -877.97 | | |  | |  | |
| 245.34 | | 245.34 | -193.04 | -1240.19 | | |  | |  | |
| **Tensiones Circunferenciales**: | | | |  | |  | |  | |
| 7 | | 8 | 9 |  | | |  | |  | |
| daN / cm2 | | daN / cm2 | daN / cm2 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 1468.52 | 781.64 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 1451.13 | 784.59 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 618.82 | 925.72 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 559.81 | 935.73 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 1468.52 | 781.64 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 1451.13 | 784.59 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 618.82 | 925.72 |  | | |  | |  | |
| 1823.49 | | 559.81 | 935.73 |  | | |  | |  | |
| **Tensiones de Comparación:** | | | |  | | |  | |  | |
| comp1 | | comp2 |  |  | | |  | |  | |
| daN / cm2 | | daN / cm2 |  |  | | |  | |  | |
| 2014.23 | | 1317.30 |  |  | | |  | |  | |
| 2207.98 | | 1263.27 |  |  | | |  | |  | |
| 2014.23 | | 2132.57 |  |  | | |  | |  | |
| 2207.98 | | 2445.39 |  |  | | |  | |  | |
| 1622.77 | | 1762.39 |  |  | | |  | |  | |
| 1714.04 | | 1609.34 |  |  | | |  | |  | |
| 1622.77 | | 1302.72 |  |  | | |  | |  | |
| 1714.04 | | 1595.54 |  |  | | |  | |  | |

**Evaluación:**

Resultados ≤ 2205.88 daN/cm2 entonces cumple.

**Tubería 1.6m adyacente al tubo pantalón**

Identificación del caso de carga: (Presión máxima. Trabajo/ Test.)

|  |  |
| --- | --- |
| **Datos de entrada para la sección en estudio** | |
| Presión máxima de trabajo / Test.. | 15.99 (daN / cm2) |
| Coef. de seguridad sobre el limite elástico para el Test.. | 1,5 |
| Tensión admisible | 2500. (daN / cm2) |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tensiones Longitudinales:** | | |  |
| 5 | 10 | 11 | i1 |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |
| 1603.24 | 609.14 | 247.21 | 853.25 |
| -1603.24 | 609.14 | 247.21 | 853.24 |
| 1603.24 | 609.14 | -247.21 | 361.93 |
| -1603.24 | 609.14 | -247.21 | 361.93 |
| L1 | i2 | L2 |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |
| 853.25 | 853.25 | 852.55 |  |
| 853.24 | 853.25 | 1015.66 |  |
| 361.93 | 361.93 | 863.84 |  |
| 361.93 | 361.93 | 1026.59 |  |
| **Tensiones Circunferenciales:** | | |  |
| 7 | 8 | 9 |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 | daN / cm2 |  |
| 2030.48 | 1740.31 | 852.55 |  |
| 2030.48 | 778.37 | 1015.66 |  |
| 2030.48 | 1675.82 | 863.48 |  |
| 2030.48 | 713.88 | 1026.59 |  |
| **ensiones de Comparación:** | | |  |
| comp1 | comp2 |  |  |
| daN / cm2 | daN / cm2 |  |  |
| 1765.61 | 2190.39 |  |  |
| 1765.61 | 1321.00 |  |  |
| 1875.88 | 1837.66 |  |  |
| 1875.88 | 1713.65 |  |  |

**Evaluación:**

Resultados ≤ 2205.88 daN/cm² entonces cumple.

**2.4 Diseño de espesor de chapa de la chimenea de equilibrio**

El diseño será realizado en función de la norma para el dimensionamiento y literatura SHF – Societe Hidrotecnnique de France ed-1988 que permiten el calculo de los máximos esfuerzos

que soportan ductos o recipientes sometidos a presión interna como externa, los espesores de pared están seleccionados considerando la presión de trabajo del punto C’ = 28.29 mca como máxima en la base de la chimenea la misma que llega a 0,98 daN / cm² en la parte superior en contacto con la atmósfera, para el calculo de esfuerzos en la chimenea de equilibrio descritos aquí serán determinados por las respectivas formulas dadas del libro de Levin.

El diseño esta basado en una discretisacion en volúmenes finitos de la chimenea, pues debido a su presión variable los esfuerzos serán menores en la corona de la misma, entonces se considerara 3 espesores de chapa distribuidos en los 27m de alto de la chimenea

**2.4.1 Cálculo de esfuerzos para presión externa**

La chimenea esta verificada sin considerar la participación del hormigón en sus anclajes y por lo tanto será considerada como expuesta.

Donde el espesor entra como dato, para cada volumen finito se trata que no supere los 12.7mm, 9.5mm, y 7.9mm y que este permita hallar los esfuerzos máximos que soporta la chimenea.

Usando las formulas descritas en el ítem (2.3.1)

**Características de la chimenea sometida a presión externa**

|  |  |
| --- | --- |
| Presión externa (vació) absoluto | 0,9807 (daN/cm²) |
| Espesor mínimo constructivo de anillos | 12.7 – 9.5 – 7.9mm |
| Coeficiente para presión externa C | 2 |
| presión critica admisible Pcr: | 1,96 (daN/cm²) |
| Radio interno de la tubería R: | 375 cm. |
| Modulo de elasticidad de la tubería E: | 2058000 (daN/cm²) |
| Coeficiente de Poisson  : | 0.3 |
| Material de la tubería Y rigidizadores | ASTM – A36 |
| Limite elástico LE | 2482.2 daN/cm² |
| Limite de rotura LR | 4000 daN/cm² |
| Tensiones admisibles en los anillos y rigidizadores | 1460.012 daN/cm² |
| Coeficiente de seguridad sobre el limite elástico (presión externa) | 1.6 |

Con la formula (2.1) para presión crítica de pandeo de la tubería sin rigidizadores para: 12,7 - 9.5 – 7,9 mm P ≤ 0.98 (daN/cm2)

0.25 3

P = -----------.E. (e/R) = son ≤ 0.98 (daN/cm²)

2

1 – 

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| e (mm) = | 12,7 | 9,5 | 7,9 |
| L = cm | 0.022 | 0.009 | 0.005 |

Entonces la tubería necesita de rigidizadores. Para calcular las características geométricas del rigidizador y chapa

Asociada. Usamos la formula (2.2):

L = 1,56. R . e + e =

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| e (mm) = | 12,7 | | 9,5 | | 7,9 | |
| L (cm ) = | 35.31 | | 30.4 | | 27.64 | |
|  |  | | |  | | **er** | |
|  |  | | |  | |  | |
|  | **hr** | | |  | |  | |
|  | **e** | | |  | |  | |
|  |  | | |  | | **L** | |
|  |  | | | **LR** | |  | |

**FIGURA: 8**

Los valores de L son muy cercanos entre si por seguridad vamos a considerar L = 35.31 cm.

Altura del rigidizador hr: 10 cm

Espesor del rigidizador er: 12.7 cm

Momento de inercia del conjunto J: 4.660 cm4

Distancia máxima entre rigidizadores: (2.3)

3.E.J

LR ≤ ------- = 278.3 cm adoptamos LR = 240. cm

R³PCR

Para calcular la presión critica de pandeo en el refuerzo y tensión en el refuerzo debido a la presión externa, es necesario calcular algunos coeficientes de la tubería:

A .  . ( 1 + 

m = ------------------- = 0.75 (2.5)

4 . e

1.285

----------- = 0.061878 (2.6)

R . e

-.a

= e. (sin . a + cos  .a) =1 (2.7)

Donde A = área del rigidizador = 56.11cm²

a = distancia entre rigidizadores adyacentes (para rigidizador doble) = o aplicamos la fórmula (2.8) para calculo de la presión critica de pandeo en el refuerzo

3.E.J.m

cr = ------------------- = 1563 daN/cm²

2

R .At. (1+m)

At – área del rigidizador y la chapa asociada cm2

Calculo de tensión en el refuerzo con la formula (2.9)

Pext.R

= ---------- = 182.6 daN/cm² ≤ **LE** **/ 1.7 = 1460** daN/cm²

e. (1+m)

**Evaluación:**

1563 daN/cm² ≤ **2482.2** daN/cm²

= 182.6 ≤ **LE** **/ 1.7 = 1460** daN/cm² (Entonces Cumple)

**2.4.2 Cálculo de espesor para presión interna**

Serán verificadas las secciones mas cargadas para los casos de carga Presión máxima de trabajo, además se tienen otros esfuerzos que se calcularan tales como las tensiones longitudinales y circunferenciales.

Los rigidizadores se colocan a un paso constante Lr=240 cm

**Características de la tubería sometida a presión interna**

|  |  |
| --- | --- |
| Cantidad de la tubería | 1 |
| Diámetros internos. | 7500 mm |
| alto de la tubería | 27 m |
| Nivel de agua máximo en la chimenea | 120,28 mca |
| Presión máxima de trabajo | 28.29 mca |
| presión critica admisible Pcr: | 2.82da N/cm² |
| Caudal máximo en la tubería | 4,6 m3/seg. |
| Tensiones admisibles en la tubería | 1460.12daN/cm² |
| Tensiones en rigidizadores | 1460.12daN/cm2 |
| Coeficiente de Poisson **** | 0.3 |
| Efecto sísmico tubería bajo presión | 1,2 |

Vamos a calcular la presión hidrostática de la chimenea calcular en el eje central de cada anillo como se indica en la Figura: 9

|  |  |
| --- | --- |
| **Presión hidrostática de la chimenea Pi** | |
| **Datos** | Pi hi (daN/cm2) |
| Pi | Presión hidrostática |
| h i | Altura de carga al centro de gravedad del anillo |
|  = | Densidad del agua |

**FIGURA: 9**

**DIAGRAMA DE PRESIÓN HIDROSTATICA**

**CHIMENEA DE EQUILIBRIO**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | **2,40** | |  | **7,50** |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | **26,60 daN/Cm²**  **24,25 daN/Cm²**  **21,85 daN/Cm²**  **19,45 daN/Cm²**  **17,05 daN/Cm²**  **14,06 daN/Cm²**  **12,01 daN/Cm²**  **9,75 daN/Cm²**  **7,35 daN/Cm²**  **4,95 daN/Cm²** |  |
|  |  |  |  |  |  | **0,00 daN/Cm²** |  |
|  |  |  |  |  | **0,6** |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  | **2,55 daN/Cm²** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **27m** |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | **2,40** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

**Resultados:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **DENSIDAD** |  |  |  |
|  | **AGUA** | **ALTURA** | **PRESION** |  |
|  | (Kg/m³) | h(i) (m) | p(i) (daN/cm²) |  |
|  | 1000,00 | 0,15 | 0,15 |  |
|  | 1000,00 | 2,55 | 2,55 |  |
|  | 1000,00 | 4,95 | 4,95 |  |
|  | 1000,00 | 7,35 | 7,35 |  |
|  | 1000,00 | 9,75 | 9,75 |  |
|  | 1000,00 | 12,15 | 12,15 |  |
|  | 1000,00 | 14,65 | 14,65 |  |
|  | 1000,00 | 17,05 | 17,05 |  |
|  | 1000,00 | 19,45 | 19,45 | |  | | --- | |  | |
|  | 1000,00 | 21,85 | 21,85 |  |
|  | 1000,00 | 24,25 | 24,25 |  |
|  | 1000,00 | 26,65 | 26,65 |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**FIGURA: 10**

**Cálculo del espesor de la chapa según la tensión de trabajo**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | A | |  |  | |  | B |  |
|  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  | |  | 1,0m |  |
|  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  | |  |  |  |
|  |  |  | |  |  |  |
| C |  | 7,5m | |  | D |  |
|  |  |  | |  |  |  |
|  | **Ta = 2480/1,7 = 1458,8 Kg/cm2** | | |  |  |  |
| |  | | --- | |  | |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
| F |  | |  | F |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  |  | | **Pi** |  |  |  |
|  |  | |  | **F = Pi / 2** |  |  |
|  | |  | | --- | |  | | |  | **A = F / Ta** |  |  |
|  |  | |  |  |  |  |
|  | h = 1,0m | |  | **ei = F / Ta.h** | |  |
|  | ei | | |  |  |  |

**FIGURA: 11**

Resultados:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **AREA** |  | **FUERZA** | **ESPESOR** |
| **UNITARIA** | **PRESION** | **UNITARIA** | **DE CHAPA** |
| A (m²) | p(i)daN/Cm² | F(i) (Kg) | e(i) (mm) |
| 7,50 | 0,15 | 562,5 | 0,004 |
| 7,50 | 2,55 | 9562,5 | 0,065 |
| 7,50 | 4,95 | 18562,5 | 0,127 |
| 7,50 | 7,35 | 27562,5 | 0,189 |
| 7,50 | 9,75 | 36562,5 | 0,250 |
| 7,50 | 12,15 | 45562,5 | 0,312 |
| 7,50 | 14,65 | 54937,5 | 0,376 |
| 7,50 | 17,05 | 63937,5 | 0,438 |
| 7,50 | 19,45 | 72937,5 | 0,500 |
| 7,50 | 21,85 | 81937,5 | 0,561 |
| 7,50 | 24,25 | 90937,5 | 0,623 |
| 7,50 | 26,65 | 99937,5 | 0,685 |

De la tabla 1 se tiene que para calcular rango de seguridad sísmico para tubo sometido a presión es 1.2 entonces Ta = LE ÷1.2 = 2480 ÷ 1.2 = 2067dan / cm2

Esto equivale a un 41% en el incremento de las tensiones aplicando este porcentaje se tendrán los valores del espesor de la chapa de la chimenea de equilibrio.

Resultados:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **AREA UNITARIA** | **PRESION HIDROST. + DINAMICA. + dinámica** | **FUERZA UNITARIA** | **ESPESOR CHAPA** |
| A (m²) | p(i) (dcN/Cm²) | F(i) (Kg) | e(i) (mm) |
| 7,50 | 0,2115 | 793,125 | 0,005 |
| 7,50 | 3,6 | 13500 | 0,092 |
| 7,50 | 6,98 | 26175 | 0,179 |
| 7,50 | 10,36 | 38850 | 0,266 |
| 7,50 | 13,74 | 51525 | 0,353 |
| 7,50 | 17,13 | 64237,5 | 0,440 |
| 7,50 | 20,66 | 77475 | 0,531 |
| 7,50 | 24,04 | 90150 | 0,617 |
| 7,50 | 27,42 | 102825 | 0,704 |
| 7,50 | 30,8 | 115500 | 0,791 |
| 7,50 | 34,19 | 128212,5 | 0,878 |
| 7,50 | 37,57 | 140887,5 | 0,965 |

Para reducir costos vamos a seleccionar 3 tipos de espesor de chapa de la chimenea. Distribuidos en la siguiente forma: Figura: 12

Por efecto de corrosión se considera 1mm más de espesor

Para la construcción del tanque se consideran los espesores superiores al de diseño.

Rango de e = 8.91 a 10.65 mm se aplicara e = 12.7 mm.

Rango de e = 7.17 a 8.91 mm se aplicara e = 9.5 mm.

Rango de e = 0.005 a 7.17mm se aplicara e = 7.9 m

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **DISTRIBUCION DE CHAPAS** | | |  |  | |  |  |  |  |
|  |  | | **9** | | | | | | | | | **10** | |  | | --- | |  | |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
| **7** | | **7** | | | | **8** | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
|  | **7a** | | **7a** | | | | | | | | | **8a** |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
| **5** | | **5** |  | | | **6** | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
|  | **3** | | **3** | | | | | | | | | **4** |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
| **3** | | **3** |  | | | **4** | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
|  | **3a** | | **3a** | | | | | | | | | **4a** |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
| **1b** | | **1b** | | | | **2b** | | | |  | |  | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
|  | **1** | | **1** | | | | | | | | | **2** | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
| **1a** | | **1a** | | | | **2a** | | | |  | |  | **B** |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |
| |  | | --- | |  | | A | A |  | | | A | | | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | | | |  | |  |  |
|  |  |  |  | | |  | | | |  | |  |  |

**FIGURA: 12**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **DIMENSIONES DE CHAPA** | | | | | |
|  |  | |  |  |  |
| **Tipo** | **espesor mm** | **cantidad** | | **A mm** | **B mm** |
| 1 | 12,7 | 2 | | 11000 | 3000 |
| 2 | 12,7 | 1 | | 1601 | 3000 |
| 3 | 9,5 | 4 | | 11000 | 3000 |
| 4 | 9,5 | 2 | | 1592 | 3000 |
| 5 | 9,5 | 2 | | 11000 | 1000 |
| 6 | 9,5 | 1 | | 1587 | 1000 |
| 7 | 7,9 | 2 | | 11000 | 3000 |
| 8 | 7,9 | 1 | | 1587 | 3000 |
| 9 | 7,9 | 2 | | 11000 | 2000 |
| 10 | 7,9 | 1 | | 1587 | 2000 |
| 1a | 12,7 | 2 | | 11000 | 3000 |
| 1b | 12,7 | 2 | | 11000 | 3000 |
| 2a | 12,7 | 1 | | 1601 | 3000 |
| 2b | 12,7 | 1 | | 1601 | 3000 |
| 3a | 9,5 | 2 | | 11000 | 3000 |
| 4a | 9,5 | 1 | | 1592 | 3000 |
| 7a | 7,9 | 2 | | 11000 | 3000 |
| 8a | 7,9 | 1 | | 1587 | 3000 |

**2.5 Diseño de espesor de chapa de la compuerta (cuerpo 300)**

Para efecto del cálculo vamos a considerar la franja más cercana al centro ancho 1m donde se calculan las presiones hidrostáticas más las presiones por efecto sísmico como se puede observar en la figura: 13

**CÁLCULO DE TENSIONES EN LAS PLACAS**

**FIGURA 13**

1,55

**0,67**

**0,65**

**0,50**

**0,50**

**0,33**

**0,90**

**CALCULO DE LA FUERZA SÍSMICA EN EL NIVEL I**

**2110**

2340

**1840**

1340

**440**

**2990**

**3510**

**3660**

3,66

3,27

2,37

1,87

1,37

0,72

0,15

**q1 = 2797**

**q1**

(q1 . 2.11)

F6 = (q1. 1.55) + ---------------

2

q**1 = 2797 Kg / m²**

La fuerza F6 actúa en un punto a 0.425 h encima de la base.

F6 = (0.555) (0.98) (1000) (3.66)² = 7286 KG.

**Características de la compuerta (datos principales)**

|  |  |
| --- | --- |
| Cantidad | 1111 |
| Elevación máxima. | 115.23m |
| Elevación mínima | 111.57m |
| Vano libre | 1600mm |
| Vano sellado | 1750mm |
| Alto sellado | 3660mm |
| Coeficiente sísmico | 0.3 |
| Ancho de la placa mas al centro | 1000mm |
| Distancia entre apoyos | 1929mm |
| Numero de vigas Horizontales | 6 |
| Chapas estructurales | ASTM – A36 |
| Limite Elástico | 2483 daN / cm2 |
| Limite rotura | 4000 daN / cm2 |
| Tensiones admisibles  Caso normal | tedaN/cm2  cedaN/cm2 |
| Tensiones admisibles  Caso sísmico | tednA /cm2  tednA / cm2 |

**2.5.1 Cálculo de tensiones en las placas**

La presión sobre la cortina frontal a la altura de las vigas de la compuerta se calculan con la formula, obteniendo los valores indicados a continuación

**Pi = hi. H2o ( KgF/Cm²) (2.29)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Pi (Kgf / m²** | **hi (m)** | **Kg. /m3)** |
| 110 | 0,11 | 1000 |
| 440 | 0,44 | 1000 |
| 1340 | 1,34 | 1000 |
| 1840 | 1,84 | 1000 |
| 2340 | 2,34 | 1000 |
| 2990 | 2,99 | 1000 |
| 3510 | 3,51 | 1000 |
| 3660 | 3,66 | 1000 |

Calculo de la fuerza sísmica en el nivel i

Del manual de Fredertick Merritt tercera edición tomo IV

Usamos la formula: **F6 = 0.555 .a . w . h² Kgf (2.30)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Fuerza de la inercia del agua contra la cortina (F6)** | |
| **Datos** |  F6 = 0.555 .a . w . h² (Kg) |
| a = | aceleración debido al sismo ( m / seg² ) |
| W = | Peso especifico del agua ( Kg / m³ ) |
| h = | Profundidad del agua, aguas arriba de la cortina ( m ) |

La fuerza F6 actúa en un punto a 0.425 h encima de la base.

F6 = (0.555) (0.98) (1000) (3.66)² = 7286 KG.

De la Figura: 13 se tiene

(q1 . 2.11)

F6 = (q1. 1.55) + ---------------

2

q**1 = 2797 Kg / m²**

en la figura: 14 se indican los ejes donde actúan los esfuerzos sobre la compuerta en los refuerzos y el centro de cada vano, por el método de elementos finitos encontramos la totalidad de los desplazamientos generados en cada nudo y a partir de estos encontrar los esfuerzos correspondientes a cada barra.

**FIGURA 14**

**1,85**

**0,72**

**0,65**

**0,50**

**0,50**

**0,33**

**0.90**

**0,095**

**0,095**

**1,66**

**Diagrama de presión acumulado ∑(Pi + qi) Kg / m²**

**Resultados:**

Comprobación de equilibrio en los nudos, sumatoria de esfuerzos internos en los elementos igual a cargas externas en el nudo.

(En coordenadas generales)

**y**

**0 X**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ESFUERZOS EN LOS APOYOS** | | |
|  |  | |
| ESF. CORTANTE | Px ( 1 ) = 0 Kg. | |
| ESF. AXIAL. | PY ( 1 ) = -308,6kg | |
| MTO. FLECTOR | Mz ( 1 ) = -1Kg-Cm | |
| ESF. CORTANTE | Px ( 2 ) = 0 Kg. | |
| ESF. AXIAL. | PY ( 2 ) = 2868,58kg | |
| MTO. FLECTOR | Mz ( 2 ) = -2Kg-Cm | |
| ESF. CORTANTE | Px ( 4 ) = 0,1 Kg. | |
| ESF. AXIAL. | PY ( 4 ) = 3519,6kg | |
| MTO. FLECTOR | Mz ( 4 ) = -2Kg-Cm | |
| ESF. CORTANTE | Px ( 7 ) = 0 Kg. | |
| ESF. AXIAL. | PY ( 7 ) = 1708,88kg | |
| MTO. FLECTOR | Mz ( 7 ) = -1Kg-Cm | |
| ESF. CORTANTE | Px ( 8 ) = 0 Kg. | |
| ESF. AXIAL. | PY ( 8 ) = 2068,9kg | |
| MTO. FLECTOR | Mz ( 8 ) = -2Kg-Cm | |
| ESF. CORTANTE | Px ( 10 ) = 0,02 Kg. | |
| ESF. AXIAL. | PY ( 10 ) = 503,68kg | |
| MTO. FLECTOR | Mz ( 10 ) = -2Kg-Cm | |

**Esfuerzos en los elementos. (En coordenadas locales)**

**Py (j) Mz (j)**

**Px (i) +**

-

**Mz (i) Py (i)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS** | | | |
| **Elemento** | **Esfuerzo axial** | **Cortante** | **momento flector** |
|  | **Px ( i , j ) Kg** | **PY ( i , j ) Kg** | **Mz ( i , j ) Kg - Cm** |
| L ( 1 , 2 ) | 0 | 308,61 | -1 |
| L ( 2 , 1 ) | 0 | 1277,16 | -11894 |
| L ( 2 , 3 ) | 0 | -1591,43 | 11893 |
| L ( 3 , 2 ) | 0 | 145,73 | 8462 |
| L ( 3 , 4 ) | -0,01 | 145,73 | -8463 |
| L ( 4 , 3 ) | -0,01 | 1749,62 | -18960 |
| L ( 4 , 5 ) | 0 | -1770,03 | 18959 |
| L ( 5 , 4 ) | 0 | -46,72 | 10435 |
| L ( 5 , 6 ) | -0,01 | -46,72 | -10436 |
| L ( 6 , 5 ) | -0,01 | 1629,42 | -15413 |
| L ( 6 , 7 ) | 0 | -1402,81 | 15412 |
| L ( 7 , 6 ) | 0 | 940,31 | -5953 |
| L ( 7 , 8 ) | 0 | -767,78 | 5952 |
| L ( 8 , 7 ) | 0 | 989,22 | -14027 |
| L ( 8 , 9 ) | 0 | -1079,73 | 14026 |
| L ( 9 , 8 ) | 0 | -51,03 | 9326 |
| L ( 9 , 10 ) | -0,01 | -51,03 | -9327 |
| L ( 10 , 9 ) | -0,01 | 420,34 | -1074 |
| L ( 10 , 11 ) | 0 | -83,04 | 1073 |
| L ( 11 , 10 ) | 0 | -0,1 | 0 |

**EVALUACION:**

De los resultados obtenidos como es de esperar el valor máximo de momento esta concentrado en L(4 , 3) y L( 4 , 5), partimos de estos valores para calcular el espesor de la membrana frontal de la compuerta entonces estimamos espesor e = 0,95cm.

**e = 0,95 cm**

**b = 100cm**

**M = 18960 Kg – cm**

Ixx = ( 1 ÷ 12 ). b . e³ = 7,144 cm4 **( 2.32)**



M. e/2

c = --------- = 1183.5 daN / cm² < 1465 daN / cm² **( 2.31)**

Ixx

**( Entonces cumple)**

**2.5.2 Cálculo de vigas para igual carga hidrostática**

para calcular la viga escogemos el mayor esfuerzo de los resultados de esfuerzo en los apoyos en este caso la viga 4 donde el esfuerzo axial Py = 3520 Kgf detallamos a continuación el desarrollo de este calculo.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | 3520 Kgf | | |  | |  | |
| |  | | --- | |  | | | 9,5 | | | 3520 | | 3520Kg / Cm² | | | | | 9,5 | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | | 3102,88 | | |  | | 195,3Cm | | |  | |  | |
| A1   |  | | --- | |  | | |  | | |  | |  | | |  | | 3102,88 | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | | A2 | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | | 9,5Cm | | | 88,15Cm | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | | M = A1 + A2 = 166236,8 Kg - cm | | | | | | | |  | |  | |
|  | |  | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | | **Sección de la viga de refuerzo** | | | | | | | |  | |  | |
| 1 | | |  | | --- | | b1 = 49 | | | | e1 | | e1 = 0,95 | | |  | |  | |
| |  | | --- | |  | | | 2 | | |  | |  | | |  | |  | |
| x | | e2 = 0,8 | | | **Y= 8,23** | | h = 10 | | | x | |  | |
|  | | b2 = 10  3 | | |  | |  | | |  | |  | |
|  | | **Ixx = ∑ Ixi + ∑ Ai . di** | | |  | |  | | |  | |  | |
|  |  | |  |  | | | |

Ixx = 1026.7 cm4 momento de inercia de la viga

Ai. Yi

Y = ------------

∑ Ai

**Figura: 15**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |

**Evaluación:**

**M.Y**

**c = --------- =** 1307.11 < 1465 daN / cm² (Cumple)

**Ixx**

**2.6 Determinación de sección de platina de refuerzo del conducto**

Las presiones del conducto actuaran como una carga que deberá absorber la inercia del rigidizador de tal forma que este brinde la debida protección a la parte curva del tubo.

Como el rigidizador tiene la base soldada al conducto y la presión actúa como una carga uniformemente distribuida, se considera como una viga sometida a fuerzas en un apoyo continuo. Para el conjunto en general se considera un rigidizador con una sección transversal, la cual posee una inercia calculada en función de las ecuaciones antes explicadas y estas a su ves dieron resultados de esfuerzos menores que el esfuerzo de trabajo permitido en cada caso, y fueron usadas para el calculo de los espesores de chapas de los cuerpos antes vistos, se concluye que las propiedades proporcionadas por el rigidizador son adecuadas para el calculo

* 1. **Diseño de Soldadura**

Según las especificaciones técnicas dadas por el código ASME normas UW para recipientes sometidos a presión, para la soldadura de nuestro diseño se aplicaran estas especificaciones.

El proceso de soldadura a utilizarse será tipo MIG con alambre tubular MIG E 71T – 18 Tipo AWS A5 .20 se realizaran tanto en el taller como en la 0bra. Para el montaje y acople en el sitio se utilizarásoldadura por arco con electrodos revestidos E 6011 Y E 7018 permitido por la norma UW – 27.

De acuerdo con la norma UW – 12 la soldadura para unir los cuerpos (100, 200 y 300) será del tipo número uno, con cordón de refuerzo. Se harán bajo la norma UW – 2, UW – 3.

La soldadura será a tope con un ángulo de 60° con un cordón de refuerzo interior de espesor 2,4mm. El espesor máximo del cordón de refuerzo para la soldadura será de 3mm de acuerdo a la norma UW – 35.

Debido a que el espesor de las juntas soldadas no son mayores a 16mm no es necesario aplicar tratamiento térmico.

**CAPITULO 3**

**3...ESPECIFICACIÓN TECNICA DE PINTURA Y ACABADO** **SUPERFICIAL**

* 1. **3.1 Preparación superficial**
  2. Debido a que el acero esta en contacto con el agua, este es muy susceptible al ataque de corrosión es en la mayor parte de las situaciones, la superficie de principal preocupación.
  3. No importa el cuidado con que se formule o manufacture un revestimiento, o lo profunda que haya sido la investigación por medio de la cual se desarrollo, o lo compleja que sea su tecnología química; el revestimiento fallara prematuramente si la superficie a la cual se aplique esta mal preparada. Ningún revestimiento puede formar una liga fuerte con una superficie si hay algo bajo el revestimiento que esta ligado débilmente a esa superficie. La suciedad, la herrumbre, las escamas, el aceite, la humedad u otra materia extraña proporciona una base débil para sostener una pintura o revestimiento y por ello causa perdida de adhesión aun que estén presentes en cantidades tan pequeñas que resulten invisibles. La preparación adecuada de la superficie es vital para obtener una mejor vida de servicio. El requisito principal para pintar con éxito una superficie es el desprendimiento de las escamas de laminación, le herrumbre, la suciedad y cualquier agente extraño que pueda evitar la adhesión de la pintura a la superficie.
  4. antes de proceder a la limpieza de la superficie del acero, debe inspeccionarse la superficie buscando el área de dificultad e imperfecciones, y se corrigen como se indica.
  5. - Deben alisarse con esmeril las soldaduras burdas y otras aristas
  6. - Deben arrancarse los salpicados de soldadura.
  7. - Las soldaduras entre tramos serán con cordones lisos y continuos.
  8. - Deben rellenarse las ranuras y cráteres.
  9. Se deberá escoger un método de preparación de la superficie que limpie el acero y que este dentro de los límites de costo, accesibilidad, contaminación del proceso de limpieza o manufactura, daño a la maquinaria y al equipo, y daño tísico al personal.

Esto se realiza de acuerdo a las normas SSPC – SP 5, la cuál consiste la preparación de la superficie mediante chorro abrasivo con granalla en la parte interna y externa de los cuerpos (100,200, 300).

La limpieza con chorro a casi blanco grado SA3 se logra con abrasivos lanzados a través de boquillas o por ruedas centrifugas. En este diseño se usara boquillas, en cabina de granallado con un sistema de avance longitudinal automático, el elemento a tratar rota automáticamente.

De la tabla 3. Seleccionamos el tipo de granalla de acero óptimo para este proceso de limpieza.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| **Características de diversos medios para limpieza mediante chorro** | | | |
| **Abrasivo** | **tamaño máximo de partículas** | **mils** | **m** |
| Arena, muy fina | Pasa 80 malla | 1,5 | 38,1 |
| Arena, fina | Pasa 40 malla | 1,9 | 48,3 |
| Arena, media | Pasa 18 malla | 2,5 | 63,5 |
| Arena, grande | Pasa 12 malla | 2,8 | 71,1 |
| granalla triturada de hierro # G-50 | Pasa 25 malla | 3,3 | 83,8 |
| **granalla triturada de hierro # G-40** | **Pasa 18 malla** | **3,6** | **91,4** |
| granalla triturada de hierro # G-25 | Pasa 16 malla | 4 | 101,6 |
| granalla triturada de hierro # G-16 | Pasa 12 malla | 8 | 203,2 |
| Munición de hierro # S-230 | Pasa 18 malla | 3 | 76,2 |
| Munición de hierro # S-330 | Pasa 16 malla | 3,3 | 83,8 |
| Munición de hierro # S-390 | Pasa 14 malla | 3,6 | 91,4 |

**TABLA: III**

Se utilizara granalla triturada de hierro G-40 por que si se utiliza una granalla bien fina puede no dar una buena textura la superficie muy lisa no permite una buena adherencia de la película de protección; a la inversa, una granalla gruesa cortara profundamente la superficie, dejando puntas de metal saliente la misma que causaría perforaciones en la película , es necesario seleccionar una granalla de micraje intermedio el mismo que al aplicar en la limpieza permita tener una rugosidad optima en la superficie del metal tratado de 50 a 75 micras, para permitir una adherencia total de la película de protección.

**3.2 Sistema de pintura**

Ninguna clase genérica de revestimiento sirve para todos los casos. En la mayor parte de los casos, los mejores resultados pueden obtenerse, combinando dos, y algunas veces más revestimientos en un solo sistema, el sistema usual de revestimiento suele consistir en un primario aplicado a la superficie del metal y una capa superior. Los primarios se seleccionan de acuerdo con estas características:

1. Liga con la superficie del metal
2. Contenido de pigmento para inhibir la herrumbre

Las capas superiores se caracterizan usualmente por:

1. Apariencia atractiva
2. Retención del color y resistencia a la radiación ultravioleta
3. Baja permeabilidad a humedad, productos químicos .etc.
4. Resistencia a la abrasión y al impacto.
5. Resistencia química

Con la variedad de revestimientos disponibles hoy, y los muchos sistema posibles de pintura con ellos, el concepto del sistema de revestimiento agrega flexibilidad a la tecnología de la pintura con una mayor selección disponible hay una oportunidad excelente para encontrar la protección exacta requerida sin pagar una prima por sobreprotección ver tabla 4.

**Características de revestimientos**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **tipo de revestimiento** | **tipo de mecanismo de secado** | **mineral Ácido** | **Alcali** | **Disolv.** | **Agua** | **Intemp.** | **T°max. Secado** |
| Epoxi | catalizado (dos) componentes | Buena | Excelente | Acept. | Buena | buena | 149 |
| Vinilo | Evap. Disolv. | Excel. | buena | Mala | My buena | My buena | 49 |
| Hule clorinado | Evap. Disolv. | Buena | buena | Mala | Buena | buena | 49 |
| **Uretano** | **catalizado (dos) componentes** | **Excel.** | **Excel.** | **Acept.** | **Buena** | **Excel.** | **149** |
| Silicona | catalizado (calor) | My buena | Acept. | Mala | Excel. | Excel. | 538 |
| Alquidico | Oxidación | Mala | Mala | Mala | Mala | Buena | 82 |
| Silicón Alquidico | Oxidación | Mala | Mala | Mala | Acept. | My buena | 149 |
| Ester Epóxico | Oxidación | Acept. | Acept. | Mala | Acept. | Buena | 121 |
| **Alquitrán de carbón Epóxico** | **catalizado (dos) componentes** | **My buena** | **Excel.** | **Acept.** | **Excel.** | **Acept.** | **163** |
| Zinc inorgánico | Hidratado | Mala | Mala | Excel. | Excel. | Buena | 399 |
| Bitumastic | Evaporación del disolvente | Buena | Buena | Mala | My buena | Mala | 65 |

**TABLA: 4**

El sistema de pintura a utilizarse será de acuerdo a las especificaciones de la norma SSPC – PS 11. La tabla 4 sirve de guía para seleccionar el tipo pintura según el medio en que se encuentre inmerso el acero a proteger, en este caso seriauna pinturaepóxicapoliamídica de alquitrán de carbón, por encontrarse inmerso en (agua) medio altamente abrasivo.

Así mismo para los componentes expuestos a la intemperie se utilizara una protección tipo alquídica uretanada de secado rápido pigmentada con sulfato de zinc.

**Inspección.** Para obtener las economías planeadas y el rendimiento máximo de un sistema de revestimiento, es necesario se hagan inspecciones periódicas durante y después de la aplicación. Para ello es necesario la presencia de un inspector calificado, este debe comprobar que se sigan todas las especificaciones y que todos los defectos se remedien con prontitud. La especificación debe incluir también las obligaciones y también la autoridad del inspector, así como todo el equipo de medición de control de calidad que deba utilizarse.

Un buen tipo de revestimiento debe tener:

1. Adecuado espesor de película para gran duración
2. Continuidad del revestimiento (libre de agujeros)
3. Buena adherencia o liga con el substrato
4. Capacidad de curar en las condiciones adecuadas
5. Las superficies Listas deben pintarse el mismo día de trabajo.

**Aplicación.** La inspección del proceso de aplicación empieza con los materiales. Deben anotarse el numero de código y el del lote de pintura en relación con el área donde se a aplicar. El material debe inspeccionarse en busca de deficiencias como natas, espesamiento, gases, grumos y asentamientos excesivos Los materiales de pintura deben mezclarse o adelgazarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante utilizando mezcladores mecánicos, se debe dar especial atención a los materiales de dos componentes para asegurar la mezcla adecuada.

La cantidad de material aplicado debe ser verificado por un medidor de espesor de de la película húmeda (medidor Nordson de tipo de punta)

No se debe aplicar al metal revestimientos a temperaturas por debajo de 4°C, ni por encima de 52°C y a una temperatura de al menos 2°C, por arriba del punto de roció para el metal que se esta revistiendo.

**Película seca.** La película seca debe inspeccionarse también buscando defectos como descascaramiento, ampollado, orificios pequeños, ojos de pescado, escurrimiento, piel de naranja, cambios de color y fallas al secado. En algunos casos el defecto puede ser tan serio que se debe corregir antes de aplicar la siguiente capa, que debe medirse como todo el espesor de la película seca, esto puede hacerse con un medidor tipo magnético.

Para detectar perforaciones pequeñas después del secado. Se usa el detector del tipo esponja húmeda como el (Tinker Razor Holiday Detector). Fundamental para las pinturas que se aplican para revestimientos de tanques o tubería.

A continuación detallamos un esquema de protección anticorrosivo

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | |
| **Esquema de Protección** | |
| **Cuadro de aplicación de la protección Anticorrosiva** | |
| **Esquema** | **Equipo/Designación** |
| A | Superficie en contacto con el Agua |
| B | Superficie en contacto con el Aire |
| C | Superficie Mecanizadas |
| D | Superficie en contacto con Hormigón, bronce ,acero inoxidable |

Después del montaje en la obra se debe aplicar el proceso completo de protección descrito aquellas zonas dañadas por procesos de soldadura, uniones de montaje, transporte y almacenamiento.

En las regiones de soldadura que serán realizadas en la obra deberá ser prevista una faja de aproximadamente 100mm de largo que no serán pintadas en los talleres, las cuales deberán recibir solamente una mano de primer oxido de hierro bi – componente (tie –coat) rojo (ref. Sumare 1202º similar)

Después de la soldadura esta faja debe ser limpiada con cepillo de acero retirándose las escorias, óxidos, grasas luego se retocan según los esquemas de pintura especificados.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Esquema** | **A** |  |  |
| **Preparado de la superficie** | | **condiciones para aplicar el revestimiento** | |
| **Norma** | **SSPC SP - 5** | Humedad relativa del aire | 20% - 85% |
| Descripción | Chorreado abrasivo de | Temperatura del substrato | 10 -35 ° C |
|  | grado SA 3 (rugosidad 50 | Temperatura Chapa | 10 -50 ° C |
|  | A 75 Micras) | Temperatura Ambiente | 10 -45 ° C |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ensayo** | | | | | **Criterio de control y aceptación** | | | | **Origen** |
| espesor de la película seca | | | |  | conforme adjunto A | | | |  |
|  |  | |  | | |  |  |  | |
|  | **Capa pintura** | | **Color** | | | **Esp: seca** | **Producto** | **observación** | |
|  |  | |  | | | **(micras)** |  | **Proveedor** | |
|  |  | |  | | |  | Sumastic265 | Sumare | |
| Primer | Epoxi Bituminoso | | Negro | | | 150 | Carbomastic 14 | Carboline o | |
|  |  | |  | | |  | Hempadur 15130 | Hempel | |
| Intermedio | |  |  | | |  |  |  | |
|  |  | |  | | |  | Sumastic265 | Sumare | |
| Terminado | Epoxi Bituminoso | | Negro | | | 150 | Carbomastic 14 | Carboline o | |
|  |  | |  | | |  | Hempadur 15130 | Hempel | |

**Esp. Final 300**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Esquema** | **B** |  |  |
| **Preparado de la superficie** | | **conducciones para aplicar el revestimiento** | |
| **norma** | **SSPC SP - 5** | Humedad relativa del aire | 20% - 85% |
| Descripción | Chorreado Abrasivo  Grado SA 2. 1/2 | Temperatura del substrato | 10 -35 ° C |
|  | 50 -75 micras | Temperatura Chapa | 10 – 50° C |
|  |  | Temperatura Ambiente | 10 – 45° C |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ensayo** | | | | | | **Criterio de control y aceptación** | | | | | | **Origen** | | |
| Espesor película seca | | | |  | | conforme adjunto A | | | | | |  | | |
|  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |
|  | **Capa pintura** | | | | | | **Color** | **Esp: seca** | | **Producto** | | | **observación** | | |
|  |  | | | | | |  | **(micras)** | |  | | | **Proveedor** | | |
|  |  | | | | | |  |  | | Sumastic265 | | | Sumare | | |
| Primer | Azarcón Alquídico | | | | | | Naranja | 40 | | Carbomastic 14 | | | Carboline o | | |
|  |  | | | | | |  |  | | Hempadur 15130 | | | Hempel | | |
| Intermedio | |  | | | | |  |  | |  | | |  | | |
|  |  | | | | | |  |  | | Sumastic265 | | | Sumare | | |
| Terminado | Azarcón Alquídico | | | | | | Verde | 50 | | Carbomastic 14 | | | Carboline o | | |
|  |  | | | | | | **Espesor final 90 micras** |  | | Hempadur 15130 | | | Hempel | | |

Para concluir detallamos las constantes de la pintura aplicada en este proyecto, cuyo revestimiento fue hecho en taller en una cabina especial tanto para tratamiento de la superficie como para su protección. El tratamiento de las uniones en el campo se indicó anteriormente.

**CAPITULO 4**

**4. INSPECCION Y PRUEBAS**

**4.1 Generalidades**

Las pruebas a realizarse en cuanto a la pintura estarán bajo las normas ASTM. Estas pruebas permitirán verificar que el trabajo hecho quede bajo lo previsto. Mientras que para la soldadura serán las UW ( ref. 8 )

**4.2 Inspección y pruebas para la soldadura**

La inspección y pruebas de la soldadura en taller serán al 100% por ultrasonido y radiografía en partes que se consideran críticas como en los cruces, y se lo hará de acuerdo a la norma UW – 11 y UW – 12 y UW -2. El resto de de los cordones se los verificara mediante técnicas no destructivas de tintas penetrantes al 100%.

La inspección y pruebas de la soldadura en la obra será para bimetálicas 100% tintas penetrantes, estructurales angulares 10% tintas penetrantes, estructurales al tope y angulares con penetración total100% ultra sonido y 10% rayos x.

Deberán ser garantizados todos los cruces de cordones de soldaduras, y todos los extremos de las costuras longitudinales en la mínima de 200mm.

**4.3 Inspección y pruebas para la pintura**

Se realizara una prueba de medición de espesores, en la cual el espesor medido, puede ser máximo hasta un 20% menos que el espesor recomendado por la SSPC, sobre un 20% de la superficie pintada.

El número de puntos medidos deberá estar de acuerdo con el área pintada a ser controlada.

10 a 20 puntos para áreas hasta 20m²

20 a 50 puntos para áreas de 20 a 200m²

50 a 100 puntos para áreas mas de 200m²

El nivel de adherencia permitido será de 5A a 4A, de acuerdo con la norma ASTM – D 3329, método A, corte en X.

Valoración :

5A - Ninguna separación o desplazamiento.

4A -Trazos de separación para el ensayo de adherencia a lo largo de los cortes.

La cinta utilizada para el ensayo de adherencia tiene el número 810 (3M)

**CAPITULO 5**

**5. ANALISIS DE COSTOS**

**Costos de materiales**

Los materiales a utilizarse en la construcción de los cuerpos se detallan a continuación.

El cuerpo 100 tiene 181 apoyos deslizantes L = 0.8m y 13 juntas de dilatación L = 0.83m dando una longitud 155.59m. Elementos que se importaron por sus características especiales. Entonces la longitud de la tubería con chapa COSAR – 55 es 2800.m

**Cuerpo 100:**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cantidad** | **Plancha de acero** | | **Material** | | **Peso - Kg** | |
| 933 | 5027x3000x6,3mmm | | COS AR 55 | | 696046 | |
| 510 | 5027x3000x6,3mmm | | COS AR 55 | | 1086.9 | |
| **Cuerpo 100:** | **200** | |  | |  | |
| **Cantidad** | **Plancha de acero** | | **Material** | | **Peso - Kg** | |
| 6 | 11000x3000x12,7mm | | ASTM A - 36 | | 19739,4 | |
| 3 | 1601x3000x12,7mm | | ASTM A - 36 | | 1436,49 | |
| 6 | 11000x3000x9,5mm | | ASTM A - 36 | | 14765,88 | |
| 3 | 1592x3000x9,5mm | | ASTM A - 36 | | 1068,51 | |
| 2 | 11000x1000x9,5mm | | ASTM A - 36 | | 1640,66 | |
| 1 | 1587x1000x9,5mm | | ASTM A - 36 | | 118,35 | |
| 4 | 11000x3000x7,9mm | | ASTM A - 36 | | 8186 | |
| 2 | 1587x3000x7.9mm | | ASTM A - 36 | | 590,5 | |
| 2 | 11000x2000x7,9mm | | ASTM A - 36 | | 2728,66 | |
| 1 | 1587x2000x7,9mm | | ASTM A - 36 | | 196,84 | |
| **Cuerpo 300:** | |  | |  | |  | |
| **Cantidad** | **Descripción** | | **Material** | | **Peso - Kg** | |
| 2 | plancha de acero 3660x1750x9,5mm | | ASTM A - 36 | | 955,3 | |
| 4 | viga vertical  3660x( 100x100x9,5mm) | | ASTM A - 36 | | 27,6 | |
| 6 | viga Horizontal  1750x( 100x100x9,5mm) | | ASTM A - 36 | | 19,8 | |

**Peso total del diseño 748607. Kg.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cantidad** | **Descripción pintura** | **Material** | **Peso** |
| 1057 | primer (galones) | Az Azarcón alquidico |  |
| 1880 | Epóxico bituminoso (galones) | Carbomastic 14 |  |

No se incluye manufactura, este costo depende de cada empresa constructora, solo los materiales tiene un costo de: seis cientos treinta y seis mil trescientos veinte y un dólares americanos.

El costo de mano de obra a utilizar: seis mecánicos, cuatro armadores, seis soldadores, calificados cuatro soldadores armadores, diez ayudantes de mecánico, cuatro pintores seis obreros durante dieciséis semanas es de: setenta y nueve mil seis cientos dólares americanos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **cantidad** | **descripción** | **Costo $** |
| 748,607 | Kilos de acero | 636,315.95 |
| 2,937 | primer (galones) | 44,055 |
| 44 | Hombres por 120 días | 79,600 |
| **Costo total** | | **$ 759,970.95** |

Por lo tanto el costo total de la obra es de setecientos cincuenta y nueve mil novecientos setenta y un dólares americanos, no incluye el traslado de las piezas el montaje y la utilidad respectiva de la empresa.

**CAPITULO 6**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**Conclusiones :**

* El diseño permite que el flujo de agua se adapte a la forma de los cuerpos para evitar las condiciones de impacto. De manera especial en las curvas del conducto, los macizos soportan los esfuerzos a los cuales se encuentran sometidos; neutralizando las presiones internas.
* Debido a especificaciones normadas de la SSPC, los ductos tendrán buena resistencia a la corrosión, pues la preparación superficial y el acabado seleccionado preverán este problema.
* El sistema se construyo basándose en los planos de diseño, aquí realizados funcionando hasta la actualidad.
* La soldadura en obra es un parámetro importante, debido a las presiones el procedimiento debe ser el adecuado, por ello se debió verificar mediante ultrasonido, radiografías y tintas penetrantes.
* La chimenea esta anclada en una base robusta de hormigón armado la misma que hace que los efectos de esfuerzos por viento y sísmico no afectan a la estructura de la chimenea por ser mínimos comparados con los esfuerzos de trabajo y su propio peso cuya base por tener diámetro de 7.5 m, el sistema se torna muy estable.

**Recomendaciones:**

* Los componentes para su instalación deben ser transportados correctamente con el fin de evitar daños en su forma por volteos imprevistos se debe preparar la plataforma de transporte con tres apoyos circulares cubiertos de neopreno en la superficie de contacto con los tubos para evitar ralladuras en la pintura. Para la manipulación se usaran fajas especiales para todos los componentes horizontales.
* Para el montaje de todos los conductos y de manera especial la chimenea de equilibrio se recomienda realizar una metodología para el transporte y montaje, el mismo que debe ser efectuado por la asistencia técnica de equipos especializados en montaje, debido a que las condiciones de trabajo son riesgosas.