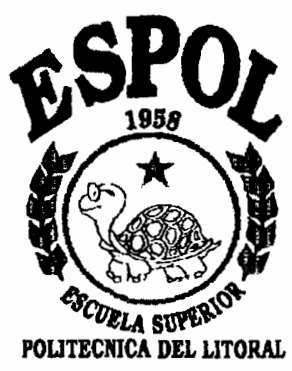


621.82
MON

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción



“Diseño de Blindaje Metálico para Ducto Desagüe de
Presa San Vicente en Palmar, Provincia del Guayas”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO



Presentado por:
Fernando Gustavo Montalvo Quizhpi

GUAYAQUIL – ECUADOR
AÑO - 2003



AGRADECIMIENTO

A todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo, hago un agradecimiento especial a mis hermanos, a mis amigos y al Ing. Manuel Helguero, Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

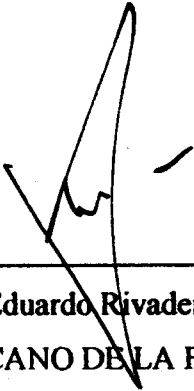
A Dios por todo

A mi madre por su inmenso
sacrificio y porque la amo

A mi padre

A mi abuelo Julio, que lo
quise mucho.

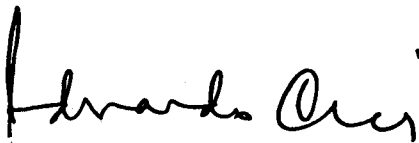
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



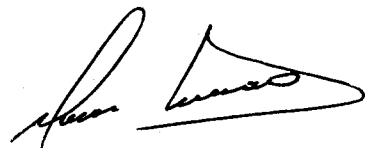
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL



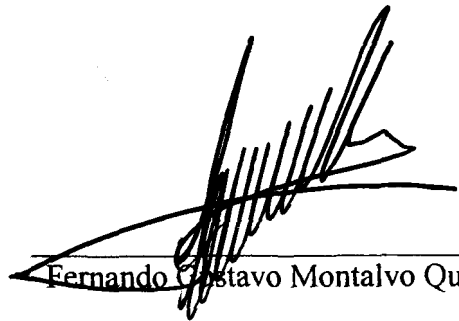
Ing. Omar Serrano V.
VOCAL

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)


Fernando Gustavo Montalvo Quizhpe



RESUMEN

El presente trabajo surge como una necesidad de obtener un diseño para la construcción del blindaje metálico en el ducto desagüe de la presa San Vicente en la provincia del Guayas, el cual estará sometido tanto a presiones internas provocadas por los cabezales dinámico y estático del flujo de agua y presiones externas debidas a el proceso de inyección de cemento al momento de su fundición.



Para este fin se necesitaba de la aplicación de normas o códigos para cumplir los requerimientos exigidos por la empresa contratante Norberto Odebrecht (CNO) y la empresa dueña del proyecto CEDEGE, las cuales exigían normas como ASME, AWS, SSPC, AWWA.

El estudio partía del diseño de forma 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 del blindaje del desagüe mediante tres cuerpos y dos compuertas encargadas de regular el flujo de salida.



- El primer cuerpo designado como número 105, consistía en una reducción de sección rectangular 4040x3000 mm a una cuadrada de 1840x1840 mm manteniendo en la parte inferior un mismo nivel.

- El segundo cuerpo designado como número 104, de sección cuadrada constante manteniendo la medida de 1840x1840 mm, blindaje que estaría ubicado entre las compuertas.
- El último cuerpo designado como número 103, cuya forma presentaba una transición de ducto cuadrado de 1840x1840 mm a ducto circular de 1800 mm de diámetro, manteniendo el mismo nivel en la parte inferior dado por la excentricidad requerida para este fin.

La primera parte de esta tesis relata la concepción del proyecto así como los requerimientos mínimos necesarios y los expuestos por parte del diseño.

El capítulo 2, contempla un análisis completo del diseño, basado en las normas especificadas en el capítulo 1, en el que se selecciona el espesor óptimo de cada ducto, se diseña la sección transversal de los rigidizadores y el distanciamiento entre ellos para cada uno de los cuerpos.

Adicionalmente este capítulo contempla el diseño de la soldadura y el tipo de proceso a aplicar.

El capítulo 3, selecciona el sistema de pintura y el tipo de acabado superficial que deberán tener los ductos para soportar las condiciones del medio en que se encuentran inmersos.



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

El capítulo 5 presenta un análisis de costo del material.

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

INDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | II |
| INDICE GENERAL..... | III |
| ABREVIATURAS..... | IV |
| SIMBOLOGIA..... | V |
| INDICE DE FIGURAS..... | VI |
| INDICE DE TABLAS..... | VII |
| INDICE DE PLANOS..... | VIII |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| I. GENERALIDADES DEL PROYECTO | 2 |
| 1.1 Breve historia de la presa San Vicente | 2 |
| 1.2 Análisis y especificación del problema..... | 3 |
| 1.3 Análisis de la normas a utilizarse | 4 |
| 1.4 Disposiciones específicas de las piezas de blindaje | 4 |
| | |
| II. DISEÑO DE LOS DUCTOS SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERNA E INTERNA..... | 6 |
| 2.1 Características del diseño..... | 6 |
| 2.2 Diseño de forma..... | 7 |
| 2.3 Diseño de espesor de chapa de transición | 8 |
| 2.3.1 Cálculo de espesor para presión externa | 10 |



| | | |
|-------|---|----|
| 2.3.2 | Cálculo de espesor para presión interna | 15 |
| 2.4 | Diseño de espesor de chapa de ducto cuadrado | 20 |
| 2.4.1 | Cálculo de espesor para presión externa | 21 |
| 2.4.2 | Cálculo de espesor para presión interna | 24 |
| 2.5 | Diseño de espesor de chapa de reductor de ducto | 27 |
| 2.5.1 | Cálculo de espesor para presión externa | 27 |
| 2.5.2 | Cálculo de espesor para presión interna | 30 |
| 2.6 | Determinación de la sección transversal de la platina usada como refuerzo en las aristas | 31 |
| 2.7 | Diseño de Soldadura | 33 |
| III. | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE PINTURA Y ACABADO SUPERFICIAL | 35 |
| 3.1 | Preparación superficial..... | 35 |
| 3.2 | Sistema de pintura | 36 |
| IV. | INSPECCIÓN Y PRUEBAS | 37 |
| 4.1 | Generalidades | 37 |
| 4.2 | Inspección y pruebas para la soldadura..... | 37 |
| 4.3 | Inspección y pruebas para la pintura..... | 37 |

V. ANALISIS DE COSTOS..... 39

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA



ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|---|
| ASME | American Society Of Mechanical Engineers |
| ASTM | American Society Testing Materials |
| AWWA | American Water Workers Association |
| in² | pulgadas cuadradas |
| Kg | Kilogramo |
| Lb | Libra |
| m | metros |
| mm | milímetros |
| Psi | libras por pulgada cuadrada |
| pul | pulgadas |
| SSPC | Steel Structure Painting Council |

SIMBOLOGÍA

| | |
|----------|---|
| α | Ángulo de cono |
| w | Ancho de la placa incluido en el cálculo del momento de inercia de la sección reforzada |
| ω | Carga distribuida |
| D | Diámetro |
| X | Distancia de la base de la placa al eje neutro |
| E | Eficiencia de la junta soldada |
| S | Esfuerzo de trabajo |
| Te | Espesor efectivo |
| Sb | Esfuerzos por flexión |
| Sm | Esfuerzos de membrana |
| St | Esfuerzo total |
| Sy | Esfuerzo de fluencia |
| Scra | Esfuerzo de pandeo de ducto |
| Scrb | Esfuerzo de pandeo de ducto |
| t | Espesor |
| Scra' | Factor de esfuerzo de pandeo A |
| Scrb' | Factor de esfuerzo de pandeo B |
| β | Factor de viga en apoyo continuo |
| H | Lado corto del recipiente |
| h | Lado largo del recipiente |
| L, Lv | Longitud del recipiente |
| Le | Longitud efectiva |
| E | Módulo de Young |
| E2 | Módulo de Young a temperatura de diseño |
| E3 | Módulo de Young a temperatura ambiente |
| I | Momento de inercia |
| M | Momento flector |
| J | Parámetro de la placa |
| K | Parámetro del recipiente |
| Δ | Parámetro del material asociado con w |
| P | Presión interna |
| Pa | Presión permitida |

ν
 α
 β
 p
 P_e

Razón de Poisson
Relación de inercias
Relación lado-paso
Paso entre rigidizadores
Presión externa

INDICE DE FIGURAS

| | | Pag. |
|----------|---|---------|
| Figura 1 | Disposición de cordones de soldadura | 5 |
| Figura 2 | Esfuerzos en ductos cuadrados | 21 |
| Figura 3 | Distribución de esfuerzos por presión externa en transición inicial | 30 |
| Figura 4 | Distribución de esfuerzos por presión interna en transición inicial | 31 |
| Figura 5 | Construcción de transición final | Anexo 6 |
| Figura 6 | Construcción de ducto cuadrado | Anexo 7 |
| Figura 7 | Construcción y montaje de transición inicial | Anexo 8 |



INDICE DE TABLAS

| | | Pag. |
|-----------|----------------------------------|-------------|
| Tabla I | Coeficiente K_a y K_b | Anexo 1 |
| Tabla II | Factor B para presiones externas | Anexo 2 |
| Tabla III | Factor A para presiones externas | Anexo 3 |
| Tabla IV | Tipos de juntas soldadas | Anexo 4 |
| Tabla V | Coeficiente de ancho efectivo | Anexo 5 |

INDICE DE PLANOS

| | | |
|-------|----|---|
| Plano | 1 | Plano General: Vista de Planta |
| Plano | 2 | Plano General: Detalle de Secciones |
| Plano | 3 | Transición Inicial: Vista de Planta |
| Plano | 4 | Transición Inicial: Vista Lateral |
| Plano | 5 | Ducto Cuadrado: Vista de Planta |
| Plano | 6 | Ducto Cuadrado: Vista A y B |
| Plano | 7 | Ducto Cuadrado: Sección 1-1. |
| Plano | 8 | Transición Final: Vista de Planta |
| Plano | 9 | Transición Final: Vista A |
| Plano | 10 | Transición Final: Sección 1-1 |
| Plano | 11 | Transición Final: Detalle de Secciones. |



INTRODUCCIÓN

Este proyecto comprende el diseño de piezas especiales de Blindaje para el Ducto Desagüe de Fondo de la Obra de Toma de la Presa San Vicente, que corresponde al Proyecto Obras Complementarias de Infraestructura para la Península de Santa Elena, conformado básicamente de ductos de diferente sección transversal sometidos a presiones externas e internas.

Estas presiones serán proporcionadas externamente por la inyección del hormigón e internamente por veinte metros de columna de agua.

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 las piezas, las cuales cumplirán con los requisitos impuestos tanto por las normas como por CNO.

Antes de salir del taller la piezas estarán sometidas a un estricto control de calidad tanto en pruebas de soldadura como de pintura.

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

CAPITULO I

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Breve Historia de la Presa San Vicente

El complejo San Vicente se está ejecutando en el norte de la península de Santa Elena, en el valle del río Javita, constituye una primera etapa que permitirá la irrigación de 1200 hectáreas y el abastecimiento de agua potable a esta zona, para que esto suceda es necesario que se termine la construcción de la presa San Vicente, la construcción de un canal y la instalación de una planta de agua potable para 5000 m³/día. El costo de todas estas importantes obras está alrededor de veinte y dos millones de dólares, sin considerar el costo de la rehabilitación de la presa. La presa San Vicente estuvo en proceso de construcción, el cual quedó estancado entre los años 1979 y 1983. Debido a esto CEDEGE realizó una revisión del diseño de la presa y de las obras anexas, pues antes estuvo a cargo de

ella, el hoy desaparecido Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI). Con esta revisión se pretende anticipar el desarrollo en la zona norte de la península, en donde el embalse de San Vicente es pieza fundamental, pues allí se irrigarán nueve mil hectáreas de tierra fértil. Esto proveerá una agricultura intensiva bajo riego, que permitirá desarrollar cultivos desde hortícolas a permanentes. Entre las localidades beneficiadas tenemos a San Vicente, Limoncito, Río Nuevo, Guangala, Inca, Palmar, Puente, Sabana Grande, Jambelí, Ayangue, y otras más (ref. 1).

1.2 Análisis y Especificación del Problema

El problema surgió por la necesidad de implantar al desagüe de la presa, un blindaje que cumpla con los requerimientos del diseño hidráulico, pues este, necesitaba de normas o códigos que solventen los espesores seleccionados a través del cálculo, para que soporten los esfuerzos a los que los cuerpos están sometidos y lo hagan con un factor de seguridad.

De ahí que se hace necesario un diseño mecánico, pues el diseño de forma predeterminado hidráulicamente aumentaba la zona de riesgo en los elementos curvos, lo cual implica un

análisis de membrana para poder cuantificar los esfuerzos en dichas zonas.

1.3 Análisis de las Normas a Utilizarse

Como se ha explicado anteriormente se exige el uso riguroso de normas que puedan sostener los cálculos que se realizan , por esta razón el proyecto se apoyará en las normas ASME, específicamente la sección 8, división 1(ref. 2) que permitirá obtener un modelo, el cual será la base para el análisis.

También se utilizará 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 Específicas de las Piezas de Blindaje

La pieza de blindaje se construirá de acero estructural ASTM A-36 .Se utilizará acero estructural ASTM A-36 basado en la norma ASME de la sección VIII división 1 UG-4, UG-5, UG-10, UG-11, UG-15, UG-93, UCS-5, UCS-6.

El valor máximo de esfuerzo permitido estará evaluado de acuerdo con las normas UCS-23 dado en la sub.-parte 1 de la



Sección II parte D, del código ASME, referente a los materiales a utilizarse en recipientes sometidos a presión.

Los perfiles referidos en este proyecto a ser utilizados como refuerzos cumplen con la norma ASME UG-29, UCS-29 y son de acero estructural ASTM A-36.

Los rigidizadores serán externos al ducto unidos a este, según la norma UG-30, que permitirá cordones de soldadura intermitentes ubicados en ambos lados del rigidizador y pueden estar ubicados alternadamente o en línea (ver figura 1). La longitud de cada filete de soldadura individual no será menor que 51 mm y tendrá un máximo espaciamiento de 8 veces el espesor.

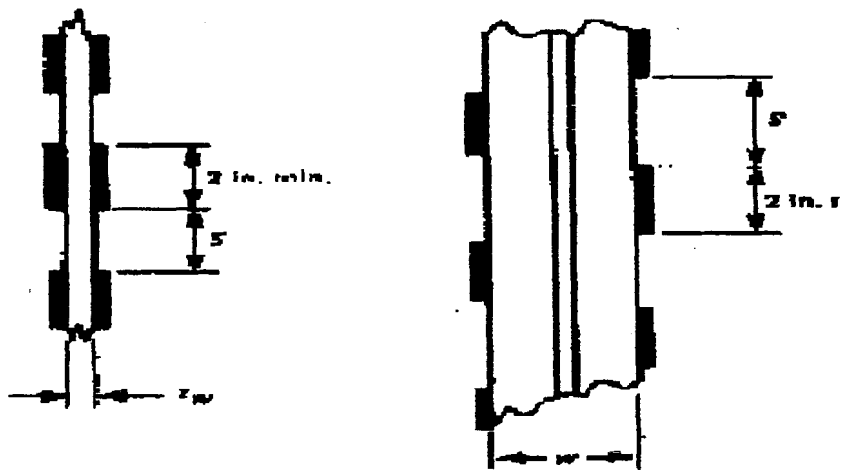


Figura 1 Disposición de cordones de soldadura (Ref. 2)

CAPITULO II

II. DISEÑO DE LOS DUCTOS SOMETIDOS A PRESION EXTERNA E INTERNA.

2.1 Características del Diseño

El diseño esta dividido en tres partes importantes:

Diseño del cuerpo 103, que es un ducto de sección transversal variable, el cual puede ser referido como una transición desde una sección cuadrada hasta una sección circular. Este cuerpo para efectos de diseño se lo ha modelado en base a discretizaciones de volúmenes finitos de tal forma que se pueda obtener una aproximación hacia un modelo que es regido en base a la norma UG-32, UG-28, UCS-28 y en base al apéndice 13 del código ASME Sección VIII. El número de volúmenes finitos estará en función del paso de los rigidizadores, ya que estos limitaran la longitud real del ducto, haciendo que se subdivida en partes.

Diseño del cuerpo 104, el cual es un ducto de sección transversal cuadrada constante que permite modelar nuestro cuerpo bajo parámetros de las normas de diseño indicadas en el apéndice 13 del código ASME Sección VIII.

Diseño del cuerpo 105, el cual es un ducto de sección transversal variable que posee un radio de curvatura. Para efectos de diseño se lo ha modelado en base a discretizaciones de volúmenes finitos de tal forma que se pueda obtener un modelo que es regido en base al apéndice 13 del código ASME Sección VIII.

El diseño de la soldadura será realizado en base a las normas UW. Todos los diseños están realizados para una presión externa de 0.9807 Kg/cm^2 (14 psi) y para una presión interna de 20 metros de agua (28.5 psi).

2.2 Diseño de Forma

El diseño de forma fue realizado por los ingenieros hidráulicos de CNO, los cuales proporcionaron las formas que debían cumplir los cuerpos y que se pasan a detallar a continuación.

El cuerpo 105 el cual posee una forma especial, que permite que el flujo de agua tome la forma del cuerpo, reduciendo los efectos de impacto por medio de sus radios de curvatura, de

esta manera el cuerpo tiende a reducirse en su sección transversal a medida que el flujo se vuelve estable, comenzando con una sección cuadrada de 4040 x 3000 mm, hasta llegar a una sección cuadrada de 1840 x 1840 mm.

El cuerpo 104, el cual es un ducto de sección cuadrada constante de 1840 x 1840 mm, que actúa una vez ya estabilizado el flujo de agua y que a su vez sirve para conectarse a la transición de sección cuadrada a sección circular.

El cuerpo 103 el cual es la transición anteriormente referida, que permite que el ducto tome la forma circular normal propia de este tipo de construcciones, cuando ya se ha estabilizado el flujo. Esta transición va desde una sección cuadrada de 1840 x 1840 mm hasta una sección circular de 1800mm de diámetro.

2.3 Diseño de Espesor de Chapa de Transición (cuerpo 103)

El diseño será realizado en función de la norma UG-28 y UG-32 las cuales permiten el cálculo de los máximos esfuerzos que soportan ductos o recipientes sometidos tanto a presión externa como interna.

Los espesores de pared descritos aquí serán determinados por las respectivas fórmulas dadas en el apéndice 13 y las normas

UG-28, UG-32 las cuales permiten encontrar los máximos esfuerzos .

El diseño está basado en una discretización en volúmenes finitos del ducto, pues, debido a sus secciones variables (transición de una sección cuadrada a circular), el comportamiento difiere al principio y al final del ducto. Al inicio se puede aproximar el cuerpo a un modelo obtenido en el apéndice 13 de la sección 8, división 1, el cual trata de explicar como se distribuyen los esfuerzos en un ducto de sección cuadrada constante sometido a presión externa e interna.

Aunque la sección transversal es cuadrada variable en aproximadamente el 50% inicial del ducto se puede realizar una discretización en volúmenes finitos de sección transversal constante. El otro 50% puede ser analizado como un cono truncado sometido a presiones externas e internas que se encuentran en la sección UG-27, UG-28 y UG-32 de la sección VIII. Los esfuerzos en la membrana debido a las presiones y a cualquier carga mecánica no excederán el esfuerzo permitido de diseño.



CIB-ESPOL

2.3.1 Cálculos de Esfuerzos por Presión Externa

Para el cálculo de esfuerzos en el ducto sometido a presión externa, el ducto es dividido en dos partes. El 50% del ducto se asumirá como sección cuadrada variable, luego hacemos volúmenes finitos en este elemento con el fin de obtener un modelo aproximado a un ducto de sección cuadrada constante, para lo cual utilizamos las fórmulas del apéndice 13, donde el espesor entra como dato ya que por efectos de mecanización, se tratará que los ductos no superen los 8 mm para realizar iteraciones sucesivas que permitan hallar los esfuerzos máximos que soporta el ducto reforzado.

Usando las fórmulas del apéndice 13 descritas a continuación:

$$(2S_{m_A} / S_{crA}) + (2 S_{m_B} / S_{crB}) \leq 1 \quad (2.1)$$

Donde :

$$S_{crA} = S'_{crA} \text{ cuando } S'_{crA} \leq S_y/2 \quad (2.2)$$

$$S_{crA} = S''_{crA} \text{ cuando } S'_{crA} \geq S_y/2 \quad (2.3)$$

$$S_{m_A} = PhH/(2(th+tH)) \quad (2.4)$$

$$S_{m_B} = Ph/2t \quad (2.5)$$

$$S'_{crA} = ((\Pi t)^2 E K_A)/(12(1-\nu^2)H^2) \quad (2.6)$$

$$S''_{crA} = S_y - (S_y^2)/(4 S'_{crA}) \quad (2.7)$$

$$S'_{crB} = ((\Pi t)^2 E K_B)/(12(1-\nu^2)Lv^2) \quad (2.8)$$

$$S''_{crB} = S_y - (S_y^2)/(4 S'_{crB}) \quad (2.9)$$

La ecuación (2.1) se denomina criterio de estabilidad e indica la condición que debe cumplirse para que no haya pandeo en el recipiente.

La longitud L_v es la longitud del ducto, pero esta se ajusta a la longitud entre los rigidizadores si las presiones son críticas y producen inestabilidad.

Los valores de K_A y K_B se obtienen de la gráfica adjunta en los anexos.

Entonces se procede a realizar algunas iteraciones sucesivas en diferentes secciones volumétricas discretizadas finitamente. Aquí se indican algunas corridas del programa:

| DATOS | | | | |
|----------------------|---------|------|------|----|
| Presion externa (P)= | 13.9488 | psi | | |
| Long.Menor.Tran(H)= | 72.44 | pulg | 1840 | mm |
| Long.Mayor.Tran(h)= | 72.44 | pul | 1840 | mm |

| | | | | |
|--------------------------|-----------|------|-----|----|
| Espesor(t)= | 0.31496 | pul | 8 | mm |
| ModuloY. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| Relac. Poisson(ν)= | 0.3 | | | |
| ratio entre lados= | 1 | | | |
| Ka= | 7 | | | |
| Kb= | 7 | | | |
| Sy= | 1.750E+04 | psi | | |
| Lb(longTanque)= | 17.71 | pulg | 450 | mm |

| | | | | |
|-------------------|-----------------|-------------|----------|--|
| Sma= | 802.056 | psi | | |
| Smb= | 1604.112 | psi | | |
| S''a= | 3587.903 | psi | | |
| S''b= | 25708.37 | psi | | |
| | | | | |
| S''''b= | 23087.54 | psi | | |
| Evaluación | | | | |
| | 0.586048 | < | 1 | |

| | | | | |
|----------------------|---------|-----|--|--|
| DATOS | | | | |
| Presion externa (P)= | 13.9488 | psi | | |



| | | | | |
|---------------------|------------|------|------|----|
| Long.Menor.Tran(H)= | 72.24 | pulg | 1835 | mm |
| Long.Mayor.Tran(h)= | 72.24 | pul | 1835 | mm |
| Espesor(t)= | 0.31496063 | pul | 8 | mm |
| Modulo Y. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| Relac. Poisson(v)= | 0.3 | | | |
| | | | | |
| ratio entre lados = | 1 | | | |
| Ka= | 7 | | | |
| Kb= | 7 | | | |
| Sy = | 1.75E+04 | psi | | |
| Lb (longTanque)= | 17.7165354 | pulg | 450 | mm |
| FORMULA | | | | |
| Sma= | 799.85 | psi | | |
| Smb= | 1599.75 | psi | | |
| S"a= | 3607.48 | | | |
| S"b= | 25708.3 | | | |
| | | | | |
| S""b= | 14521.8 | | | |
| | Evaluación | | | |
| | 0.66377 | < | 1 | |

Después de realizar algunas iteraciones sucesivas para diferentes discretizaciones finitas concluimos que el espesor de 8 mm de pared satisface todos los requerimientos. Asumiendo este modelo, se colocarán los rigidizadores a 450mm.

Asumiendo que el ducto aproximadamente desde el 50% hasta el final se comporta como un cono truncado podemos usar las normas UG-28 para aproximar nuestro modelo al ducto real.

Para el cono truncado tenemos:

$$t_e = t \cos\alpha \quad (2.10)$$

$$L_e = (L/2)(1+(D_s/D_I)) \quad (2.11)$$

$$P_a = 4B/(3 D_I/t_e) \quad (2.12)$$

DATOS

| | | |
|------------------|--------|------|
| Diametro equ.= | 76 | Pulg |
| Angulo Incl.= | 2.09 | ° |
| Sw(EsfWork)= | 17500 | Psi |
| Presion Externa= | 15 | Psi |
| Diametro menor= | 70.87 | Pulg |
| Longitud= | 59.055 | Pulg |

CALCULO DEL ESPESOR PARA PRESION EXTERNA

| | | | | |
|--------------|---------|------|---|----|
| Espesor= | 0.31496 | pulg | 8 | mm |
| te= | 0.31475 | pulg | | |
| Long-Efect = | 61.1924 | pulg | | |
| Le / D may = | 0.80516 | | | |
| D may / te = | 241.461 | | | |

DE LA FIG.G EN LA SUBPARTE 3 SECCION II PARTE D

BUSCO "A"

A= 0.00045 FIGURA 3 DE ANEXO

EN LA SUBPARTE 3 SECCION II PARTE D BUSCO "B"

B= 6250 FIGURA 2 DE ANEXO

Presión Admitida por el cono

Presión Cono = 51.7683 psi > 15 Entonces cumple

De aquí que los 8mm soportan perfectamente la presión externa.

2.3.2 Cálculos de Esfuerzos por presión Interna

Con respecto a la presión interna , aunque las fuerzas son absorbidas por el concreto, si asumimos que las fuerzas, debidas a la presión interna, son absorbidas por el ducto, entonces cuando el agua fluya va a producir un



aumento de esta presión en el ducto y como ya no existe inyección del concreto, esta prevalecerá.

Por seguridad se presentarán los cálculos del espesor para la presión interna neta. (apéndice 13. y se

Los rigidizadores se colocarán a un paso seleccionado, iterando sucesivamente con el espesor y el paso entre los rigidizadores de tal forma que el resultado salga aproximado a lo encontrado anteriormente para presión externa. (2.15)

De igual manera, realizamos volúmenes finitos para el modelo, de tal forma que obtenemos aproximaciones a modelos analizados en ASME. (2.16)

Para el cálculo de esfuerzos en el ducto sometido a presión interna tendremos los siguientes parámetros de diseño: (2.17)

| | | | | |
|-----------------------|----------|------|------|----|
| Presión Interna (P)= | 29 | psi | | |
| Long. Menor. Tran(H)= | 72.44 | pulg | 1840 | mm |
| Long. Mayor. Tran(h)= | 72.44 | pul | 1840 | mm |
| Espesor(t)= | 0.311496 | pul | 8 | mm |
| ModuloY. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| Sw= | 17500 | psi | | |

| | | | | |
|---------------------------|-------|-----------------|--|--|
| Area Secc. Tranv Rig.= | 2.852 | in ² | | |
| Inercia(Secc. Trans.)Rig= | 14.22 | in ⁴ | | |

Las fórmulas se encuentran en el apéndice 13. y se detallan a continuación:

$$\Delta = (\Delta \text{ tabulado tabla 1y2}) \cdot (E2/E3)^{1/2} \quad (2.13)$$

$$w = t \cdot \Delta / (S_y)^{1/2} \quad (2.14)$$

Esfuerzos en la membrana:

$$S_m = P h p / (2(A + p t)) \quad (2.15)$$

Esfuerzos en los bordes:

$$S_{bn} = (P p c / 24 I) (-3H^2 + 2h^2) ((1 + \alpha^2 k) / (1 + k)) \quad (2.16)$$

$$S_{bq} = (P (h^2) p c / 12 I) ((1 + \alpha^2 k) / (1 + k)) \quad (2.17)$$

Esfuerzos totales:

$$S_{TN} = S_m + S_{bn} \quad (2.18)$$

$$S_{TQ} = S_m + S_{bq} \quad (2.19)$$

Evaluando las fórmulas mediante iteraciones sucesivas tenemos los siguientes resultados:

| | | |
|------------------------------------|-------|----|
| p= | 17.72 | in |
| Dato J de la Tabla a partir de B = | | |

| | | |
|---------------------------------|------------|------------|
| p1 | 10.94 | |
| W= | 10.10 | |
| Ap = | 3.18 | |
| $\hat{x}^{\wedge} =$ | 1.64 | |
| Ci = | 1.64 | |
| Co= | -4.67 | |
| Inercia(I)= | 52.32 | |
| ESFUERZOS EN LA MEMBRANA | | |
| Sm = | | 2206.98679 |
| ESFUERZOS EN DOBLEZ | | |
| Superficie Externa | | |
| Sbn= | | 10030.7111 |
| Sbq= | | -20061.422 |
| Superficie Interna | | |
| Sbn= | | -3527.3359 |
| Sbq= | | 7054.67179 |
| ESFUERZOS TOTALES | | |
| Superficie externa | | |
| Stn= | 12237.6979 | psi |
| Stq= | -17854.436 | psi |
| Superficie interna | | |
| Stn= | -1320.3491 | psi |

| | | |
|----------------------------|-------------|-----|
| Stq= | 9261.65857 | psi |
| | | |
| FACTOR DE SEGURIDAD | | |
| | 2.94 | |
| | 2.01 | |
| | 2.26 | |
| | 3.88 | |

Esta es la primera iteración con la primera discretización de volúmenes finitos. Al continuar analizando las demás iteraciones podemos apreciar que el modelo funciona perfectamente con el espesor de 8 mm y rigidizadores colocados a 450mm.

Esto se da sin tomar en cuenta que el concreto absorbe la mayoría de las fuerzas de presión y asumimos que el ducto es el que recibe todas las fuerzas de tal manera que al tomar en cuenta al concreto los valores del factor de seguridad aumentarán. De ahí la hipótesis de que la presión externa es la crítica .

Para la parte que asumimos un cono truncado usamos las fórmulas de la norma UG-32:

$$t = PD/(2\cos\alpha(SE-0.6P)) \quad (2.20)$$

De aquí el espesor nos da como resultado 2mm, así que; podemos, trabajar tranquilamente con los 8mm que dio como resultado en el cálculo de presiones externas.

2.4 Diseño de Espesor de Chapa de Ducto Cuadrado (Cuerpo 104)

El diseño será realizado en función del apéndice 13 el cual permite el cálculo de los máximos esfuerzos que soportan ductos o recipientes sometidos tanto a presión externa como interna.

El diseño está basado en análisis de esfuerzos por membrana y esfuerzos por flexión en los bordes ya que al ser trabajado en frío en el metal se producen esfuerzos residuales resultando crítico su análisis.

Los esfuerzos en la membrana debido a las presiones y a cualquier carga mecánica no excederán el esfuerzo permitido de diseño.



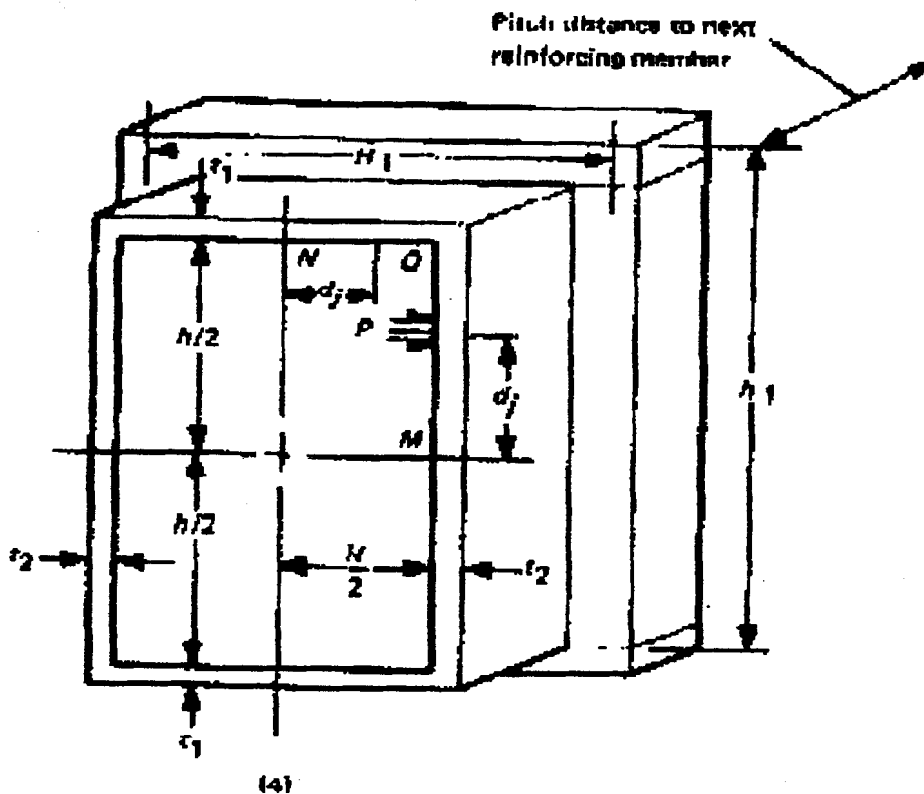


Figura 2 Esfuerzos en ductos cuadrados (Ref. 2)

2.4.1 Cálculo de Esfuerzos por Presión Externa

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

| | | | | |
|----------------------|-------|------|------|----|
| Presion externa (P)= | 14 | psi | | |
| Long.Menor.Tran(H)= | 72.44 | pulg | 1840 | mm |

| | | | | |
|---------------------|----------|-----|------|----|
| Long.Mayor.Tran(h)= | 72.44 | pul | 1840 | mm |
| Espesor(t)= | | pul | | mm |
| ModuloY. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| RelacPoisson(v)= | 0.3 | | | |

En donde el espesor se utilizará como dato para realizar iteraciones sucesivas que permitan hallar los esfuerzos máximos que soporta el ducto reforzado.

Usando las fórmulas del apéndice 13 descritas a continuación:

$$(2S_{m_A} / S_{crA}) + (2 S_{m_B} / S_{crB}) \leq 1 \quad (2.1)$$

Donde :

$$S_{crA} = S'_{crA} \text{ cuando } S'_{crA} \leq S_y/2$$

$$S_{crA} = S''_{crA} \text{ cuando } S'_{crA} \geq S_y/2$$

$$S_{m_A} = PhH/(2(th+tH))$$

$$S_{m_B} = Ph/2t$$

$$S'_{crA} = ((\Pi t)^2 E K_A)/(12(1-\nu^2)H^2)$$

$$S''_{crA} = S_y - (S_y^2/(4 S'_{crA}))$$

$$S'_{crB} = ((\Pi t)^2 E K_B)/(12(1-\nu^2)Lv^2)$$

$$S''_{crB} = S_y - (S_y^2 / (4 S'_{crB}))$$

La ecuación (2.1) y todas las variables descritas en estas ecuaciones se acogen a la nomenclatura indicada en el diseño de la primera parte del cuerpo 103.

Después de realizar iteraciones sucesivas para diferentes espesores de plancha y diferentes longitudes entre rigidizadores obtenemos los siguientes resultados:

| | | | | |
|----------------------|----------|------|------|----|
| Presion externa (P)= | 14 | psi | | |
| Long.Menor.Tran(H)= | 72.44 | pulg | 1840 | mm |
| Long.Mayor.Tran(h)= | 72.44 | pul | 1840 | mm |
| Espesor(t)= | 0.3149 | pul | 8 | mm |
| ModuloY. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| RelacPoisson(v)= | 0.3 | | | |
| ratio entre lados= | 1 | | | |
| Ka= | 7 | | | |
| Kb= | 7 | | | |
| Sy= | 1.75E+04 | psi | | |
| Lb(longTanque)= | 17.71 | pulg | 450 | mm |
| FORMULA | | | | |
| Sma= | 802.056 | psi | | |
| Smb= | 1604.112 | psi | | |



| | | | | | |
|-------|-------------------|--------------|---------------|--|--|
| S'a= | | 3587.903 | | | |
| S'b= | | 25708.37 | | | |
| | | | | | |
| S''b= | | 14521.88 | | | |
| | Evaluación | | | | |
| | 0.571882 | <1 | cumple | | |

Por lo tanto se utilizará planchas de espesor de 8mm y rigidizadores separados cada 450 mm.

2.4.2 Cálculos de Esfuerzos por Presión Interna

De la misma forma en que diseñamos para el cuerpo anterior procedemos a utilizar las fórmulas para el cálculo de esfuerzos en el ducto sometido a presión interna. Tendremos los siguientes parámetros de diseño:

| | | | | |
|-----------------------|----------|------|------|----|
| Presion Interna (P)= | 29 | psi | | |
| Long.Menor.Tran(H)= | 72.44 | pulg | 1840 | mm |
| Long.Mayor.Tran(h)= | 72.44 | pul | 1840 | mm |
| Espesor(t)= | | pul | | mm |
| ModuloY. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| Sw= | 17500 | psi | | |
| Area Secc.TranvRig..= | 2.852 | in2 | | |

| | | | | |
|---------------------------|-------|-----------------|--|--|
| Inercia(Secc.Trans.)Rig.= | 14.22 | in ⁴ | | |
|---------------------------|-------|-----------------|--|--|

Las fórmulas se encuentran en el apéndice 13.8 y se detallan a continuación:

$$\Delta = (\Delta \text{ tabulado}) * (E2/E3)^{1/2}$$

$$w = t * \Delta / (S_y)^{1/2}$$

Esfuerzos en la membrana:

$$S_m = P h p / (2(A + p t))$$

Esfuerzos en los bordes:

$$S_{bn} = (P p c / 24 I) (-3H^2 + 2h^2) ((1 + \alpha^2 k) / (1 + k))$$

$$S_{bq} = (P (h^2) p c / 12 I) ((1 + \alpha^2 k) / (1 + k))$$

Esfuerzos totales:

$$S_{TN} = S_m + S_{bn}$$

$$S_{TQ} = S_m + S_{bq}$$

Evaluando las fórmulas mediante iteraciones sucesivas tenemos los siguientes resultados:

| | | |
|-----------------------------------|-------|----|
| p= | 17.72 | in |
| Dato J de la Tabla a partir de B= | | |
| p1 | 10.94 | |
| W= | 10.10 | |

| | | |
|---------------|-------|--|
| Ap= | 3.18 | |
| \bar{x}^2 = | 1.64 | |
| Ci= | 1.64 | |
| Co= | -4.67 | |
| Inercia(I)= | 52.32 | |

| | | |
|--|------------|------------|
| ESFUERZOS EN LA MEMBRANA | | |
| Sm = | | 2206.98679 |
| ESFUERZOS DEBIDO A LA FLEXION EN EL BORDE | | |
| Superficie Externa | | |
| Sbn= | | 10030.7111 |
| Sbq= | | -20061.422 |
| Superficie Interna | | |
| Sbn= | | -3527.3359 |
| Sbq= | | 7054.67179 |
| ESFUERZOS TOTALES | | |
| Superficie externa | | |
| Stn= | 12237.6979 | psi |
| Stq= | -17854.436 | psi |
| Superficie interna | | |
| Stn= | -1320.3491 | psi |

| | | |
|----------------------------|------------|-----|
| Stq= | 9261.65857 | psi |
| FACTOR DE SEGURIDAD | | |
| 2.4 | | |
| 2.15 | | |
| 2.6 | | |
| 3.5 | | |

De tal forma que el espesor será de 8mm y estará espaciado a 450 mm y se aplica el criterio anterior sin tomar en cuenta que el concreto absorbe las fuerzas.

2.5 Diseño de Espesor de Chapa de Cuerpo 105

El diseño se basa en el mismo análisis realizado en el cuerpo 103, lo cual era realizar discretizaciones mediante volúmenes finitos con el fin de aproximar el cuerpo a un modelo al que podamos adaptarlo a las fórmulas descritas en el apéndice 13.

2.5.1 Cálculos de Esfuerzos por Presión Externa

Aplicando las mismas fórmulas que en el cuerpo 103 para la primera parte analizada, se procede a la corrida mediante iteraciones sucesivas efectuada con un programa en Excel.

De aquí podemos obtener los siguientes resultados:

La plancha de este cuerpo será de un espesor de 8mm (5/16") y los refuerzos estarán espaciados cada 350mm con el fin de disminuir la longitud analizada. También se colocarán refuerzos longitudinales con el fin de incrementar la rigidez de este cuerpo y aplicar un modelo el cual nos permita obtener resultados de tal manera que cumplirá con los factores de seguridad que exigen las especificaciones técnicas.

El factor de seguridad calculado con las mismas fórmulas de los cuerpos anteriores es de 2. Aquí se muestra una corrida del programa en Excel.

| | | | | |
|------------------------|----------|------|------|----|
| Presión externa (P)= | 14 | psi | | |
| Long. Menor. Tran(H)= | 55.12 | pulg | 1400 | mm |
| Long. Mayor. Tran(h)= | 55.12 | pul | 1400 | mm |
| Espesor(t)= | 0.3149 | pul | 8 | mm |
| ModuloY. (E)= | 3.00E+07 | psi | | |
| RelacPoisson(ν)= | 0.3 | | | |
| ratio entre lados= | 1 | | | |
| Ka= | 7 | | | |
| Kb= | 7 | | | |
| Sy= | 1.75E+04 | psi | | |

| | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------|-----|----|
| Lb(longTanque)= | 13.8 | pulg | 350 | mm |
| FORMULA | | | | |
| S _{ma} = | 657.2 | psi | | |
| S _{mb} = | 1312.5 | psi | | |
| S'a= | 6157.554 | | | |
| S'b= | 14166.84 | | | |
| | | | | |
| S''b= | 12095.27 | | | |
| | Evaluación | | | |
| | 0.497082 | <1 cumple | | |

Obviamente el modelo presenta cierto porcentaje de error pues se lo ajusta a un modelo previamente concebido, así que; para evaluar la resistencia del ducto se aplica elementos finitos a una sección de membrana real con la finalidad de analizar el ducto de manera real. De aquí tenemos:

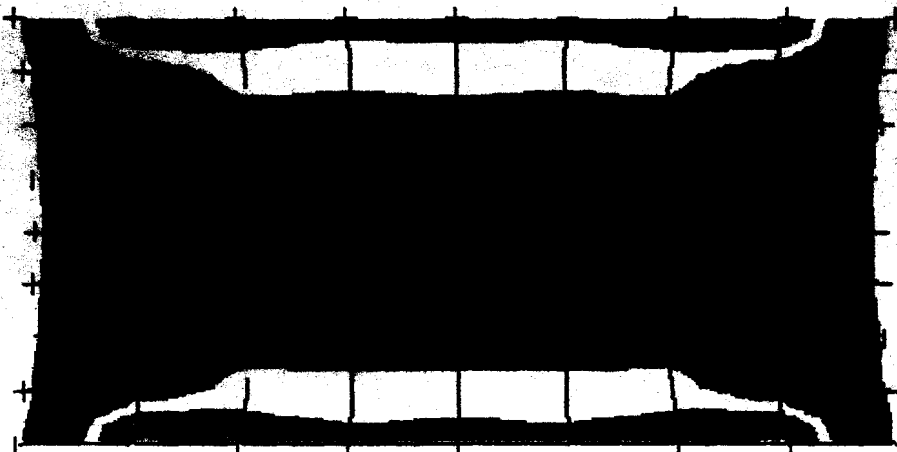


Figura 3

Distribución de esfuerzos por presión externa

De aquí se observa que el esfuerzo que se presenta en el modelo anterior a la membrana más crítica no supera el esfuerzo de fluencia y cumple los requerimientos de diseño.

2.5.2 Cálculos de Esfuerzos por Presión Interna

Aplicando las mismas fórmulas que para el cuerpo 103 y 104, obtengo que el espesor seleccionado en el ítem anterior satisface los requerimientos ampliamente. Aquí una corrida en elementos finitos para aplicarlo al sistema real:

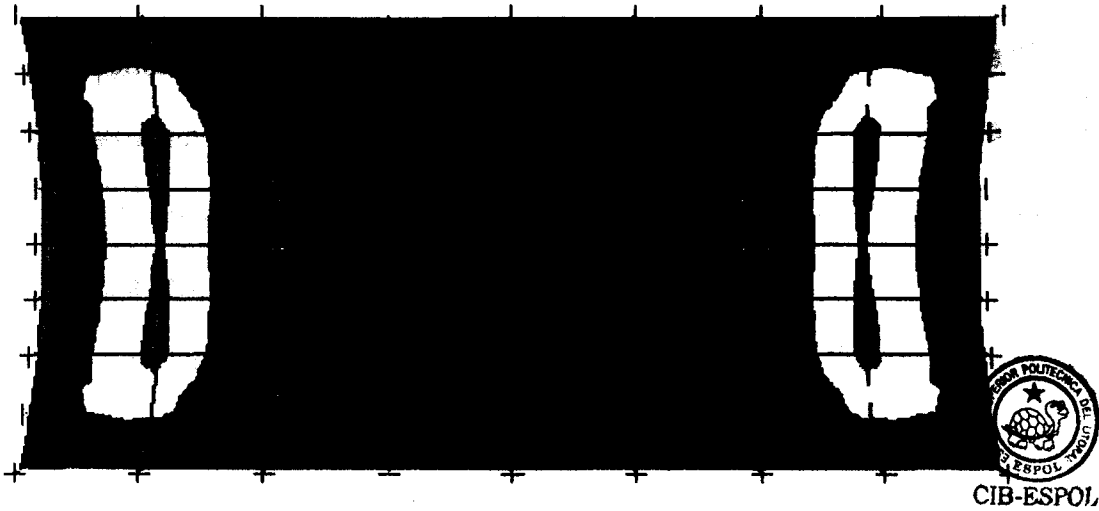


Figura 4

Distribución de esfuerzos por presión interna

Que satisface ampliamente lo antes calculado, por lo tanto los espesores de 10 mm de altura y 5 mm de espesor cumplen tanto los espesores pueden usarse con los factores de seguridad requeridos.

2.6 Determinación de la sección transversal de la platina usada como refuerzo en las aristas.

Las presiones (14 y 28.5 psi) actuarán como una carga que deberá absorber la inercia del rigidizador de tal forma que este pueda brindar la debida protección a la parte curva del ducto.

Debido a que el rigidizador posee su base soldada al ducto y la presión actúa como una carga uniformemente distribuida, lo

consideramos como una viga sometida a fuerzas en un apoyo continuo. Luego, realizamos un proceso iterativo, de modo que asumimos la sección transversal hasta que nos de un resultado que cumpla con las especificaciones técnicas requeridas.

Las formulas usadas son:

$$\beta = (k/4EI)^{1/4} \quad (2.21)$$

$$M = (\omega/4\beta^2) (2B_{\beta a}); \quad B_{\beta a} = 0.12 \text{ para este caso.} \quad (2.22)$$

$$\sigma = M c / I \quad (2.23)$$

Donde sigma debe ser menor que el esfuerzo de trabajo permitido (ref. 4 y 5).

Después de realizar la iteraciones observamos que una sección transversal de 200mm de altura y 8mm de espesor cumple perfectamente nuestros requerimientos de inercia.

Para el cuerpo en general se considera un rigidizador con una sección transversal T, la cual posee una inercia calculada en función de las ecuaciones antes explicadas, y fue usada para el cálculo de los espesores de chapa de los cuerpos antes vistos de aquí, concluimos que la propiedades proporcionadas por el rigidizador son adecuadas para el cálculo.

Tomando una pequeña porción del elemento curvo y mediante el análisis de esfuerzos en dicha membrana obtenemos el radio



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

mínimo a partir del cual no se debe poner refuerzos en las aristas del ducto y de la transición.

Entonces :

$$R = (\sigma L t) / (2^{3/2} \tau a) \quad (2.24)$$

Donde:

σ = Esfuerzo en el extremo del rigidizador de sección T.

L = Longitud extrema sometida a momento en la placa.

τ = Esfuerzo cortante máximo permitido.

Después de evaluar estos parámetros el radio mínimo para no colocar refuerzos en las aristas es 250mm.

Por lo tanto colocaremos rigidizadores longitudinales en las aristas del cuerpo 104 y en la parte del cuerpo 103 donde el radio no sea aún el mínimo.

2.7 Diseño de la Soldadura

La soldadura de nuestro diseño se encuentra en función de las especificaciones técnicas dadas por el código ASME normas UW para recipientes sometidos a presión.

El proceso de soldadura a utilizarse será tipo MIG, con alambre MIG ER 70S-6 tipo AWS A5.18-93 y se realizará en el taller.

Para el montaje y acople de la pieza en el sitio se utilizará

soldadura por arco con electrodos revestidos E 6011 y E7018, permitido por la norma UW-27.

Se utilizará soldadura a tope de acuerdo con la norma UW-12 para unir los cuerpos del ducto, la soldadura será del tipo número 1, que será con cordón de refuerzo.

De acuerdo a las condiciones de diseño de nuestro ducto y al tipo de junta, la soldadura de estos cuerpos se harán bajo la norma UW-2, UW-3.

La soldadura será a tope con un ángulo de 60 grados y con un cordón de refuerzo inferior de espesor de 2.4 mm de acuerdo a la norma UW-35.

El espesor máximo del cordón de refuerzo para la soldadura será máximo de 3mm de acuerdo a la norma UW-35.

No se requerirá tratamiento térmico debido a que el espesor de la junta soldada es menor a 16 mm.

CAPITULO III

III. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE PINTURA Y ACABADO SUPERFICIAL.

3.1 Preparación Superficial

El requisito principal para pintar con éxito una superficie es el desprendimiento de las escamas de laminación, la herrumbre, suciedad y cualquier agente extraño que pueda evitar la adhesión de la pintura al recipiente.

Esto se realizará de acuerdo a las normas SSPC y a las normas AWWA C-210. Es importante que la pintura tenga buena adhesión, por eso recomendamos una preparación superficial en base a la especificación SSPC-SP 10, la cual consiste en la preparación de la superficie mediante un chorro de arena (Sand Blasting), en la parte interna del ducto. En la parte externa una preparación superficial en base a la especificación SSPC-SP 1, SSPC- SP 2, SSPC- SP 3 (ref. 6 y 7).

3.2 Sistema de pintura

El objetivo de la pintura es la conservación de la superficie de acero. El sistema de pintura a utilizarse será de acuerdo a las especificaciones SSPC-PS 11 que recomienda una pintura tipo 16-68T No 16 que es una pintura epóxica poliamídica de alquitrán de carbón, por encontrarse en un medio inmerso altamente abrasivo. Esta norma recomienda 2 manos de pintura cada una de 8 mils.

CAPITULO IV

IV. INSPECCIÓN Y PRUEBAS

4.1 Generalidades

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

4.2 Inspección y Pruebas para la Soldadura

La examinación de la soldadura será al 100% por ultrasonido o radiografía en partes que se consideren 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 los cordones se los verificará mediante técnicas no destructivas de tintas penetrantes al 100% .

4.3 Inspección y Pruebas para la Pintura

Se realizará 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 total pintada.

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

El nivel de adherencia permitido será de 5A o 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 V

V. ANÁLISIS DE COSTOS

Costos de Materiales

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

Para el cuerpo 103:

| Cantidad | Descripción | Material | Peso |
|----------|---|-----------|------|
| 8 | Plancha de 900x200x8 | ASTM A-36 | 91 |
| 6 | Plancha de 2440x1220x8mm | ASTM A-36 | 1122 |
| 28 | Varilla diá. 6mm | SAE-1018 | 19 |
| 44 | Tapón para inyección | SAE-1018 | 48 |
| 28 | Placa de 160x160x8mm | ASTM A-36 | 23 |
| 1 | Placa de 8080x180x8mm | ASTM A-36 | 92 |
| 1 | Torta de diá. 455x diá. Int. 300, e= 10 | ASTM A-36 | 6 |
| 1 | Placa de 1100x237x8mm | ASTM A-36 | 17 |
| 2 | Torta de diá. 700x diá. Int. 500, e= 10 | ASTM A-36 | 30 |
| 2 | Torta de diá. 1110x diá. Int. 700, e=8 | ASTM A-36 | 74 |
| 2 | Placa de 1570x1407x8mm | ASTM A-36 | 278 |
| 1 | Placa de 5660x1000x8mm | ASTM A-36 | 356 |
| 1 | Placa de 7780x1520x8mm | ASTM A-36 | 743 |
| 1 | Placa de 8960x1540x8mm | ASTM A-36 | 867 |
| 1 | Placa de 7400x1000x8mm | ASTM A-36 | 465 |

Para el cuerpo 104:

| Cantidad | Descripción | Material | Peso |
|-----------------|------------------------|-----------------|-------------|
| 25 | Tapón para inyección | SAE-1018 | 27 |
| 35 | Varilla diá. 8mm | SAE-1018 | 4 |
| 4 | Placa de 2855x200x8mm | ASTM A-36 | 144 |
| 4 | Placa de 2440x1220x8mm | ASTM A-36 | 748 |
| 1 | Placa de 8800x180x8mm | ASTM A-36 | 100 |
| 32 | Placa de 160x160x8mm | ASTM A-36 | 26 |
| 1 | Placa de 8800x448x8mm | ASTM A-36 | 248 |
| 1 | Placa de 2200x360x8mm | ASTM A-36 | 50 |
| 3 | Placa de 2200x260x8mm | ASTM A-36 | 108 |
| 1 | Placa de 1800x7400x8mm | ASTM A-36 | 837 |
| 1 | Placa de 7400x900x8mm | ASTM A-36 | 419 |

Para el cuerpo 105:

| Cantidad | Descripción | Material | Peso |
|-----------------|--------------------------|-----------------|-------------|
| 21 | Tapón para inyección | SAE-1018 | 23 |
| 5 | Plancha de 2440x1220x8mm | ASTM A-36 | 935 |
| 10 | Plancha de 1800x200x8 | ASTM A-36 | 226 |
| 24 | Varilla diá. 8mm | SAE-1018 | 6 |
| 14 | Varilla diá. 8mm | SAE-1018 | 6 |
| 8 | Placa de 160x160x8mm | ASTM A-36 | 7 |
| 1 | Placa de 8800x448x8mm | ASTM A-36 | 248 |
| 1 | Placa de 2200x360x8mm | ASTM A-36 | 50 |
| 3 | Placa de 2200x260x8mm | ASTM A-36 | 108 |
| 1 | Placa de 7400x870x8mm | ASTM A-36 | 440 |
| 4 | Placa de 4040x1105x8mm | ASTM A-36 | 266 |
| 2 | Placa de 3000x1800x8mm | ASTM A-36 | 678 |
| 1 | Placa de 1800x1640x8mm | ASTM A-36 | 186 |
| 2 | Placa de 1800x1200x8mm | ASTM A-36 | 271 |

Para los tres cuerpos en general:

| Cantidad | Descripción | Material | Peso |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------|
| 32 | Pernos de anclaje diá. 25x520 | AISI 304 | 80 |
| 15 | Pintura primer(galones) | | |
| 15 | Pintura acabado(galones) | | |

El peso total a manejarse es de 10472 kilos.

El costo total de esta obra solo en materiales sin incluir manufactura pues esto depende de cada empresa constructora es de : cinco mil setecientos noventa y un dólares americanos.

El costo de mano de obra al utilizar seis obreros por el tiempo de dos semanas por cada cuerpo es de : mil ochocientos dólares americanos.

| Cantidad | Descripción | costo |
|--------------------|---------------------|---------------|
| 10472 | Kilos de acero | \$5791 |
| 30 | Galones de pintura | 450 |
| 1 | Sand Blasting | 500 |
| 18 | Hombres por 15 días | 1800 |
| Costo total | | |
| | | \$8541 |

Por lo tanto el costo total de la obra es de ocho mil quinientos cuarenta y un dólares americanos. No incluye el traslado de las piezas, el montaje y la utilidad respectiva de la empresa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones :

- Los cuerpos protegen correctamente el ducto de concreto, pues sirven de blindaje para este y soportarán los esfuerzos a los cuales se encuentran sometidos.
- Debido a las 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 diseñado se construyó basándose en los planos de diseño, aquí realizados funcionando hasta la actualidad.
- La soldadura de la obra es un parámetro importante en este tipo de cuerpos, pues, debido a las presiones, el procedimiento debe ser el adecuado, por ello se debió verificar estas mediante radiografías y tintas penetrantes.
- El diseño permite que el flujo de agua se adapte a la forma del los cuerpos para evitar las condiciones de impacto.

Recomendaciones:

- Los cuerpos para su instalación deben transportarse correctamente con el fin de evitar el deterioro de la pintura o el aplastamiento de los cuerpos e incluso las fallas por impacto debido a algún movimiento brusco en la manipulación.
- Se recomienda también en el montaje de los ductos en la presa la correcta asistencia técnica por parte de equipos especializados en montaje, debido a que las condiciones de trabajo, son riesgosas.

ANEXOS

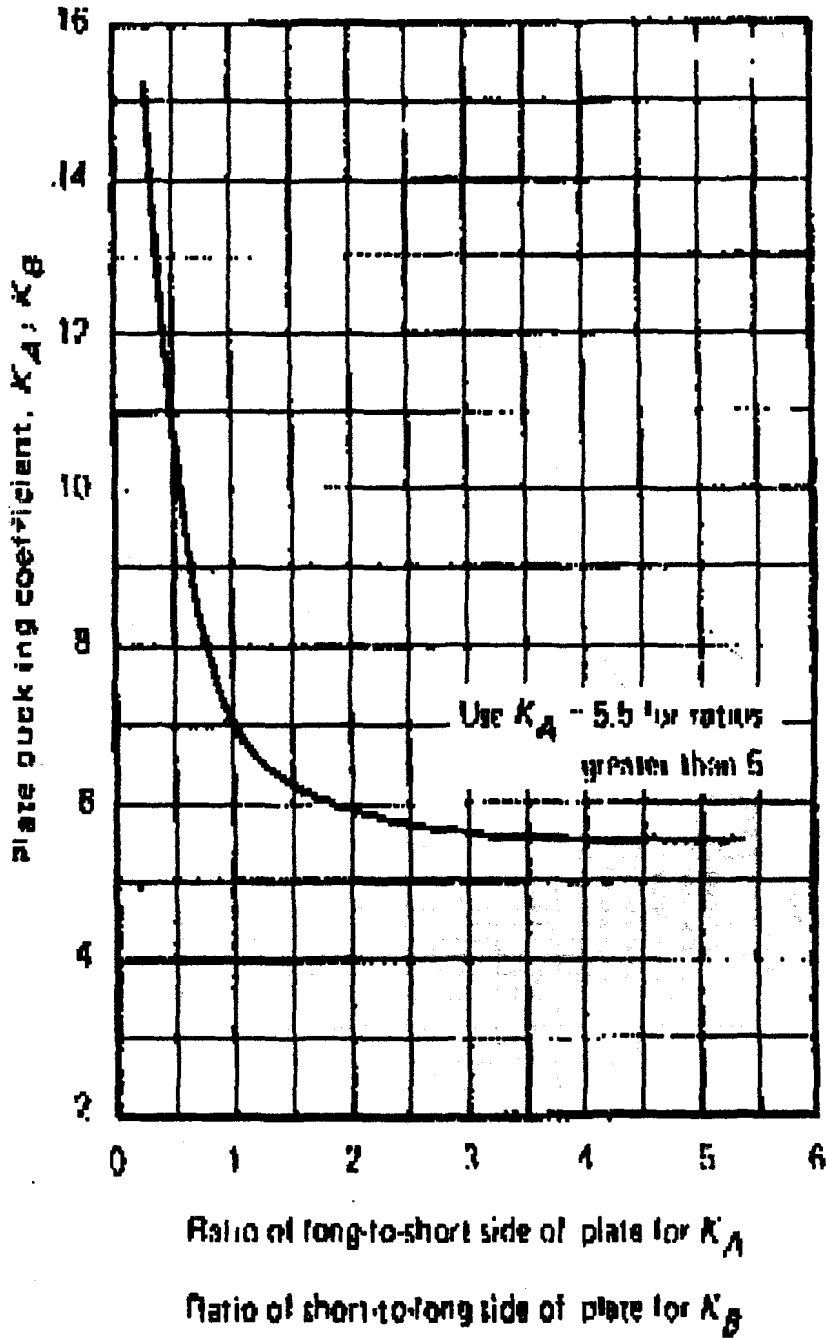
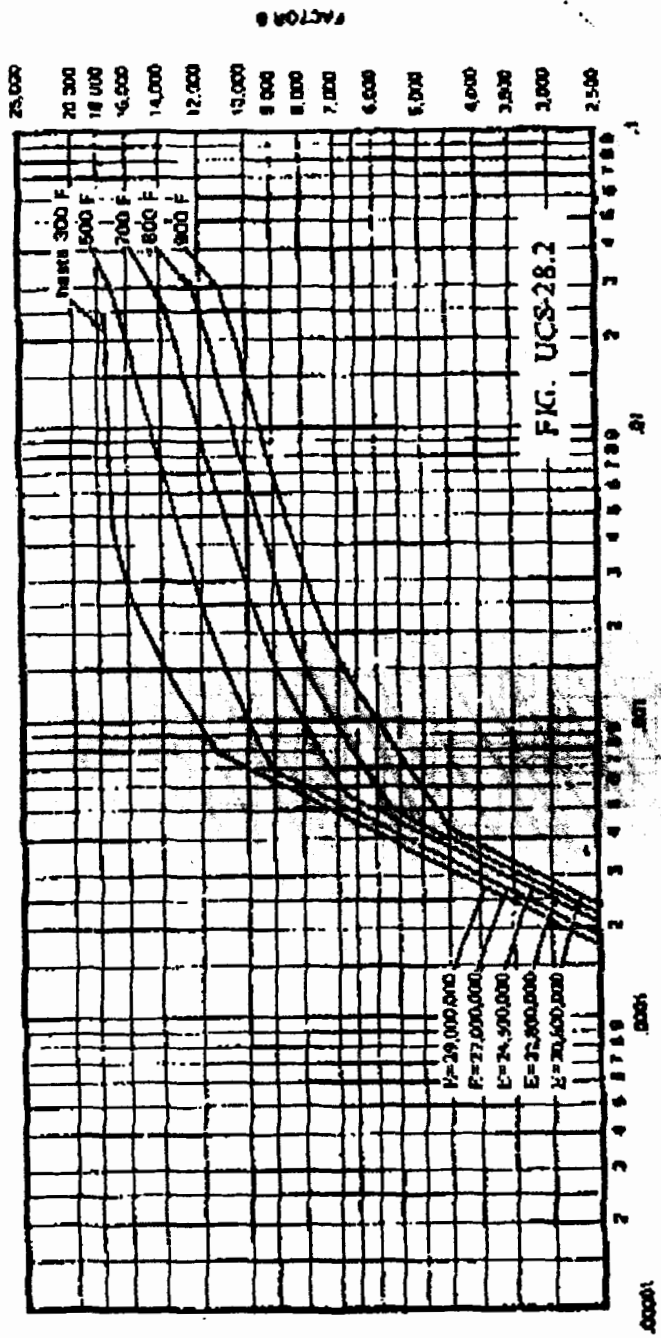
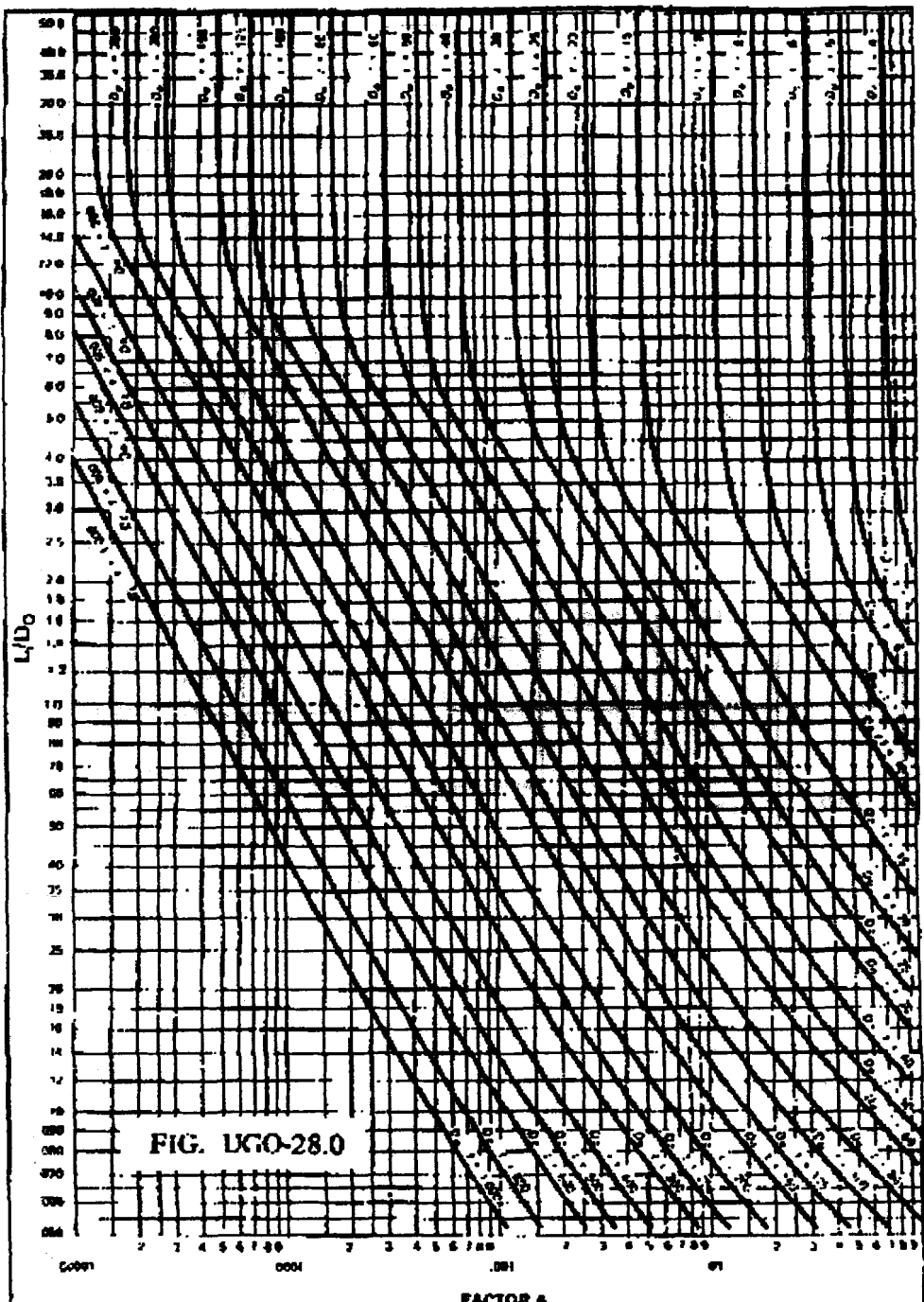


TABLA I Valores de K_a y K_b



FACTOR B PARA PRESIONES EXTERNAS

TABLA II



VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION EXTERNA

TABLA III

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS







| TIPOS NORMA UW-12 | | EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es: | | |
|--|--|--|------------------------------|-----------------------|
| | | a. Radiografía total- mente | b. Examinada por zonas | c. No Examinada |
| 1  | <p>untas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositado sobre las superficies interior y exterior de la pieza.</p> <p>Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p> | 1.00 | 0.85 | 0.70 |
| 2  En juntas circunferenciales únicamente | <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar.</p> | 0.90 | 0.80 | 0.65 |
| 3  | <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p> | - | - | 0.60 |
| 4  | <p>Junta a traslape de doble filete completo</p> | - | - | 0.55 |
| 5  | <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de rapón</p> | - | - | 0.50 |
| 6  | <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de rapón</p> | - | - | 0.45 |



TABLA IV

| Material | Effective Width Coefficient k_1 (Note (1)) / psi |
|----------------------------|--|
| Carbon Steel | 6000 |
| Austenitic Stainless Steel | 5040 |
| Ni-Cr-Fe | 6180 |
| Ni-Fe-Cr | 6030 |
| Aluminum | 3560 |
| Market Copper | 5170 |
| Unalloyed Titanium | 1490 |

NOTE:

(1) These coefficients are based on modulus of elasticity at ambient temperature for the materials in Table NF-1 of Subpart 2 of Section II, Part D. For different modulus values calculate k_1 as follows:

$$k_1 = (A)_w \sqrt{E_s/E_c}$$



TABLA V Coeficiente de ancho efectivo

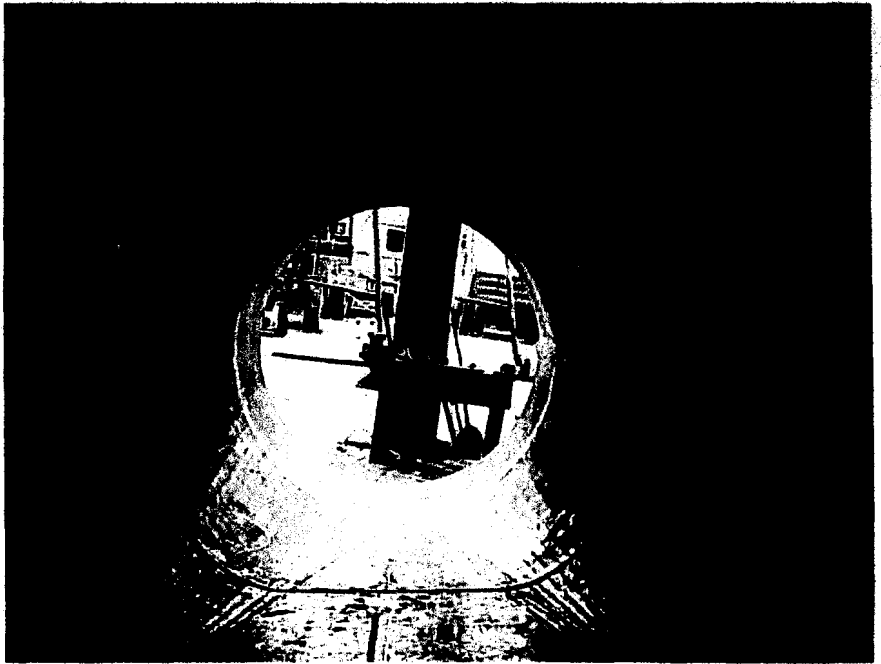


FIGURA 5. CONSTRUCCIÓN DE TRANSICIÓN FINAL

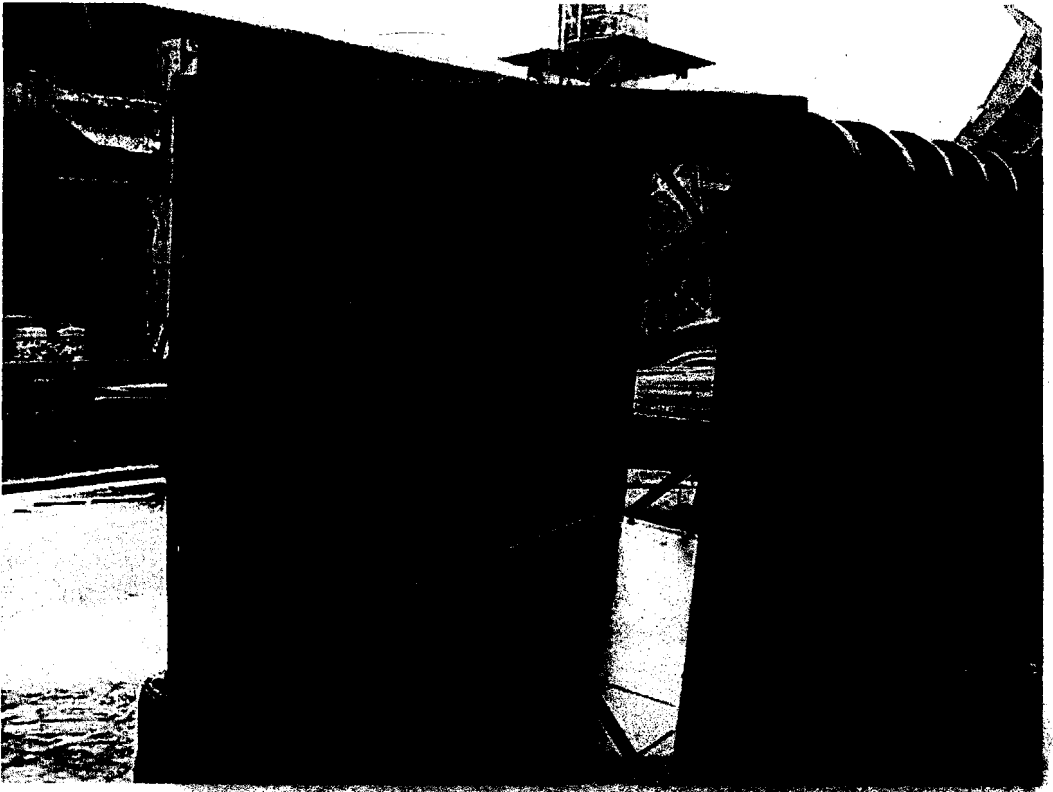


FIGURA 6. CONSTRUCCIÓN DUCTO CUADRADO



FIGURA 7. CONSTRUCCIÓN DE TRANSICIÓN INICIAL

HOJA DE DATOS PARA EL MODELO DE LA MEMBRANA

SYSTEM

DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ LENGTH=cm FORCE=Kgf LINES=59

JOINT

1 X=-70 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
2 X=-52.5 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
3 X=-52.5 Y=-25.8819 Z=2.62332
4 X=-70 Y=-25.8819 Z=2.62332
5 X=-52.5 Y=-17.36482 Z=4.511512
6 X=-70 Y=-17.36482 Z=4.511512
7 X=-52.5 Y=-8.715573 Z=5.650211
8 X=-70 Y=-8.715573 Z=5.650211
9 X=-52.5 Y=0 Z=6.030739
10 X=-70 Y=0 Z=6.030739
11 X=-52.5 Y=8.715573 Z=5.650211
12 X=-70 Y=8.715573 Z=5.650211
13 X=-52.5 Y=17.36482 Z=4.511512
14 X=-70 Y=17.36482 Z=4.511512
15 X=-52.5 Y=25.8819 Z=2.62332
16 X=-70 Y=25.8819 Z=2.62332
17 X=-52.5 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
18 X=-70 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
19 X=-35 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
20 X=-35 Y=-25.8819 Z=2.62332
21 X=-35 Y=-17.36482 Z=4.511512
22 X=-35 Y=-8.715573 Z=5.650211
23 X=-35 Y=0 Z=6.030739
24 X=-35 Y=8.715573 Z=5.650211
25 X=-35 Y=17.36482 Z=4.511512
26 X=-35 Y=25.8819 Z=2.62332
27 X=-35 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
28 X=-17.5 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
29 X=-17.5 Y=-25.8819 Z=2.62332

30 X=-17.5 Y=-17.36482 Z=4.511512
31 X=-17.5 Y=-8.715573 Z=5.650211
32 X=-17.5 Y=0 Z=6.030739
33 X=-17.5 Y=8.715573 Z=5.650211
34 X=-17.5 Y=17.36482 Z=4.511512
35 X=-17.5 Y=25.8819 Z=2.62332
36 X=-17.5 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
37 X=0 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
38 X=0 Y=-25.8819 Z=2.62332
39 X=0 Y=-17.36482 Z=4.511512
40 X=0 Y=-8.715573 Z=5.650211
41 X=0 Y=0 Z=6.030739
42 X=0 Y=8.715573 Z=5.650211
43 X=0 Y=17.36482 Z=4.511512
44 X=0 Y=25.8819 Z=2.62332
45 X=0 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
46 X=17.5 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
47 X=17.5 Y=-25.8819 Z=2.62332
48 X=17.5 Y=-17.36482 Z=4.511512
49 X=17.5 Y=-8.715573 Z=5.650211
50 X=17.5 Y=0 Z=6.030739
51 X=17.5 Y=8.715573 Z=5.650211
52 X=17.5 Y=17.36482 Z=4.511512
53 X=17.5 Y=25.8819 Z=2.62332
54 X=17.5 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
55 X=35 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
56 X=35 Y=-25.8819 Z=2.62332
57 X=35 Y=-17.36482 Z=4.511512
58 X=35 Y=-8.715573 Z=5.650211
59 X=35 Y=0 Z=6.030739
60 X=35 Y=8.715573 Z=5.650211
61 X=35 Y=17.36482 Z=4.511512
62 X=35 Y=25.8819 Z=2.62332
63 X=35 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
64 X=52.5 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07

65 X=52.5 Y=-25.8819 Z=2.62332
66 X=52.5 Y=-17.36482 Z=4.511512
67 X=52.5 Y=-8.715573 Z=5.650211
68 X=52.5 Y=0 Z=6.030739
69 X=52.5 Y=8.715573 Z=5.650211
70 X=52.5 Y=17.36482 Z=4.511512
71 X=52.5 Y=25.8819 Z=2.62332
72 X=52.5 Y=34.20201 Z=4.768372E-07
73 X=70 Y=-34.20201 Z=4.768372E-07
74 X=70 Y=-25.8819 Z=2.62332
75 X=70 Y=-17.36482 Z=4.511512
76 X=70 Y=-8.715573 Z=5.650211
77 X=70 Y=0 Z=6.030739
78 X=70 Y=8.715573 Z=5.650211
79 X=70 Y=17.36482 Z=4.511512
80 X=70 Y=25.8819 Z=2.62332
81 X=70 Y=34.20201 Z=4.768372E-07

RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=4 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=6 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=8 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=10 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=12 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=14 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=16 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=18 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=73 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=74 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=75 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=76 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=77 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=78 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=79 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3

ADD=80 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=81 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=2 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=17 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=19 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=27 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=28 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=36 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=37 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=45 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=46 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=54 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=55 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=63 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=64 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=72 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3

PATTERN

NAME=DEFAULT

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=.007981 W=.007833

T=0 E=2038902 U=.3 A=.0000117

NAME=CONC IDES=C M=2.448012E-06 W=2.402616E-03

T=0 E=253105.1 U=.2 A=.0000099

NAME=OTHER IDES=N M=2.448012E-06 W=2.402616E-03

T=0 E=253105.1 U=.2 A=.0000099

SHELL SECTION

NAME=SSEC1 MAT=STEEL TYPE=Shell TH=.8

SHELL

1 J=1,2,4,3 SEC=SSEC1

2 J=4,3,6,5 SEC=SSEC1

3 J=6,5,8,7 SEC=SSEC1

4 J=8,7,10,9 SEC=SSEC1
5 J=10,9,12,11 SEC=SSEC1
6 J=12,11,14,13 SEC=SSEC1
7 J=14,13,16,15 SEC=SSEC1
8 J=16,15,18,17 SEC=SSEC1
9 J=2,19,3,20 SEC=SSEC1
10 J=3,20,5,21 SEC=SSEC1
11 J=5,21,7,22 SEC=SSEC1
12 J=7,22,9,23 SEC=SSEC1
13 J=9,23,11,24 SEC=SSEC1
14 J=11,24,13,25 SEC=SSEC1
15 J=13,25,15,26 SEC=SSEC1
16 J=15,26,17,27 SEC=SSEC1
17 J=19,28,20,29 SEC=SSEC1
18 J=20,29,21,30 SEC=SSEC1
19 J=21,30,22,31 SEC=SSEC1
20 J=22,31,23,32 SEC=SSEC1
21 J=23,32,24,33 SEC=SSEC1
22 J=24,33,25,34 SEC=SSEC1
23 J=25,34,26,35 SEC=SSEC1
24 J=26,35,27,36 SEC=SSEC1
25 J=28,37,29,38 SEC=SSEC1
26 J=29,38,30,39 SEC=SSEC1
27 J=30,39,31,40 SEC=SSEC1
28 J=31,40,32,41 SEC=SSEC1
29 J=32,41,33,42 SEC=SSEC1
30 J=33,42,34,43 SEC=SSEC1
31 J=34,43,35,44 SEC=SSEC1
32 J=35,44,36,45 SEC=SSEC1
33 J=37,46,38,47 SEC=SSEC1
34 J=38,47,39,48 SEC=SSEC1
35 J=39,48,40,49 SEC=SSEC1
36 J=40,49,41,50 SEC=SSEC1
37 J=41,50,42,51 SEC=SSEC1
38 J=42,51,43,52 SEC=SSEC1

39 J=43,52,44,53 SEC=SSEC1
40 J=44,53,45,54 SEC=SSEC1
41 J=46,55,47,56 SEC=SSEC1
42 J=47,56,48,57 SEC=SSEC1
43 J=48,57,49,58 SEC=SSEC1
44 J=49,58,50,59 SEC=SSEC1
45 J=50,59,51,60 SEC=SSEC1
46 J=51,60,52,61 SEC=SSEC1
47 J=52,61,53,62 SEC=SSEC1
48 J=53,62,54,63 SEC=SSEC1
49 J=55,64,56,65 SEC=SSEC1
50 J=56,65,57,66 SEC=SSEC1
51 J=57,66,58,67 SEC=SSEC1
52 J=58,67,59,68 SEC=SSEC1
53 J=59,68,60,69 SEC=SSEC1
54 J=60,69,61,70 SEC=SSEC1
55 J=61,70,62,71 SEC=SSEC1
56 J=62,71,63,72 SEC=SSEC1
57 J=64,73,65,74 SEC=SSEC1
58 J=65,74,66,75 SEC=SSEC1
59 J=66,75,67,76 SEC=SSEC1
60 J=67,76,68,77 SEC=SSEC1
61 J=68,77,69,78 SEC=SSEC1
62 J=69,78,70,79 SEC=SSEC1
63 J=70,79,71,80 SEC=SSEC1
64 J=71,80,72,81 SEC=SSEC1



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

LOAD

NAME=LOAD1 SW=1

NAME=LOAD2

TYPE=SURFACE PRESSURE ELEM=SHELL FACE=5

ADD=1 P=1.9614

ADD=2 P=1.9614

ADD=3 P=1.9614

ADD=4 P=1.9614



CIB-ESPOL

ADD=5 P=1.9614
ADD=6 P=1.9614
ADD=7 P=1.9614
ADD=8 P=1.9614
ADD=9 P=1.9614
ADD=10 P=1.9614
ADD=11 P=1.9614
ADD=12 P=1.9614
ADD=13 P=1.9614
ADD=14 P=1.9614
ADD=15 P=1.9614
ADD=16 P=1.9614
ADD=17 P=1.9614
ADD=18 P=1.9614
ADD=19 P=1.9614
ADD=20 P=1.9614
ADD=21 P=1.9614
ADD=22 P=1.9614
ADD=23 P=1.9614
ADD=24 P=1.9614
ADD=25 P=1.9614
ADD=26 P=1.9614
ADD=27 P=1.9614
ADD=28 P=1.9614
ADD=29 P=1.9614
ADD=30 P=1.9614
ADD=31 P=1.9614
ADD=32 P=1.9614
ADD=33 P=1.9614
ADD=34 P=1.9614
ADD=35 P=1.9614
ADD=36 P=1.9614
ADD=37 P=1.9614
ADD=38 P=1.9614
ADD=39 P=1.9614



ADD=40 P=1.9614
ADD=41 P=1.9614
ADD=42 P=1.9614
ADD=43 P=1.9614
ADD=44 P=1.9614
ADD=45 P=1.9614
ADD=46 P=1.9614
ADD=47 P=1.9614
ADD=48 P=1.9614
ADD=49 P=1.9614
ADD=50 P=1.9614
ADD=51 P=1.9614
ADD=52 P=1.9614
ADD=53 P=1.9614
ADD=54 P=1.9614
ADD=55 P=1.9614
ADD=56 P=1.9614
ADD=57 P=1.9614
ADD=58 P=1.9614
ADD=59 P=1.9614
ADD=60 P=1.9614
ADD=61 P=1.9614
ADD=62 P=1.9614
ADD=63 P=1.9614
ADD=64 P=1.9614

OUTPUT

; No Output Requested

END

; The following data is not required for analysis. It is written here as a backup.

; This data will be used for graphics and design if this file is imported.

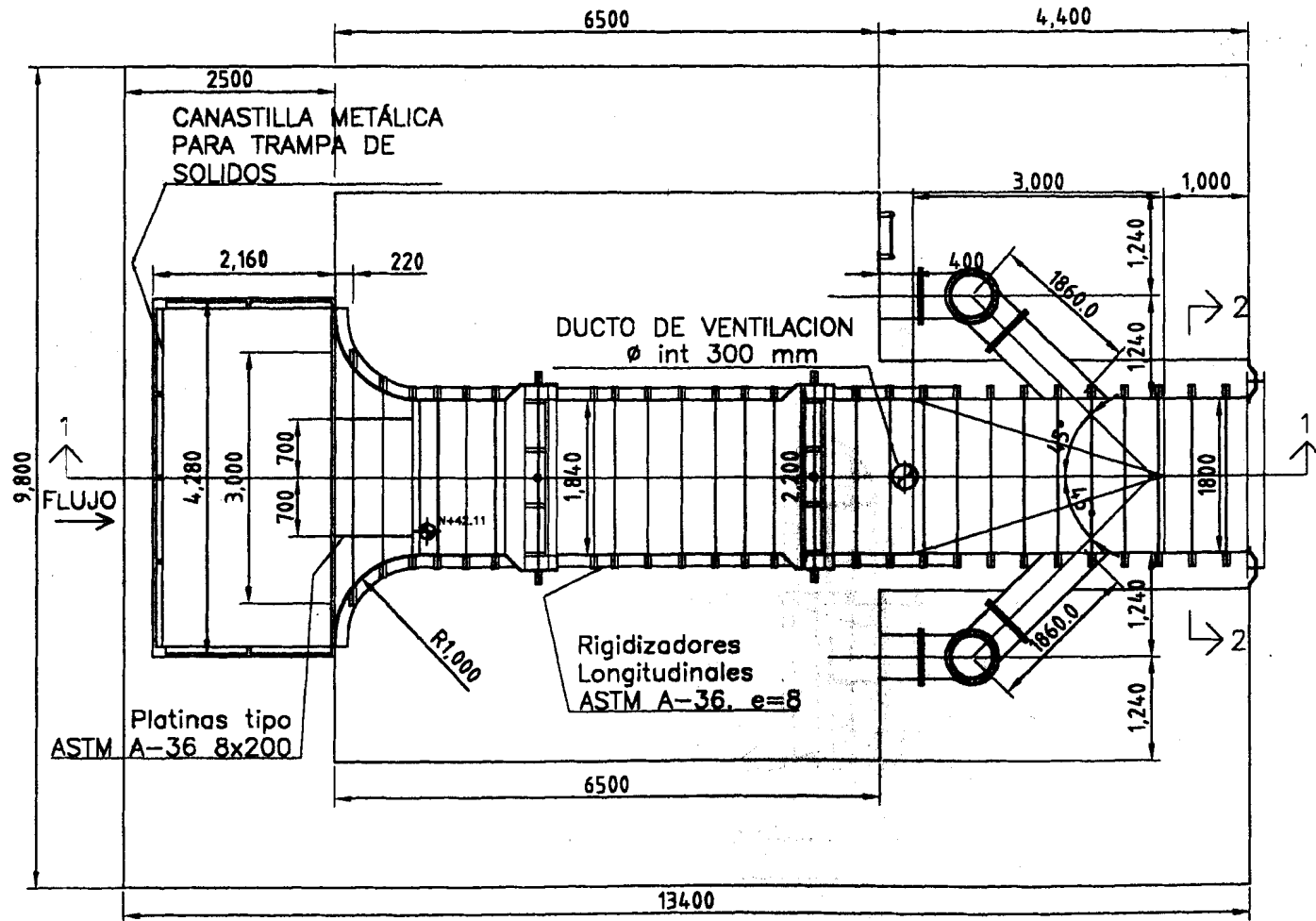
; If changes are made to the analysis data above, then the following data

; should be checked for consistency.

; Any errors in importing the following data are ignored without warning.

SAP2000 V6.11 SUPPLEMENTAL DATA

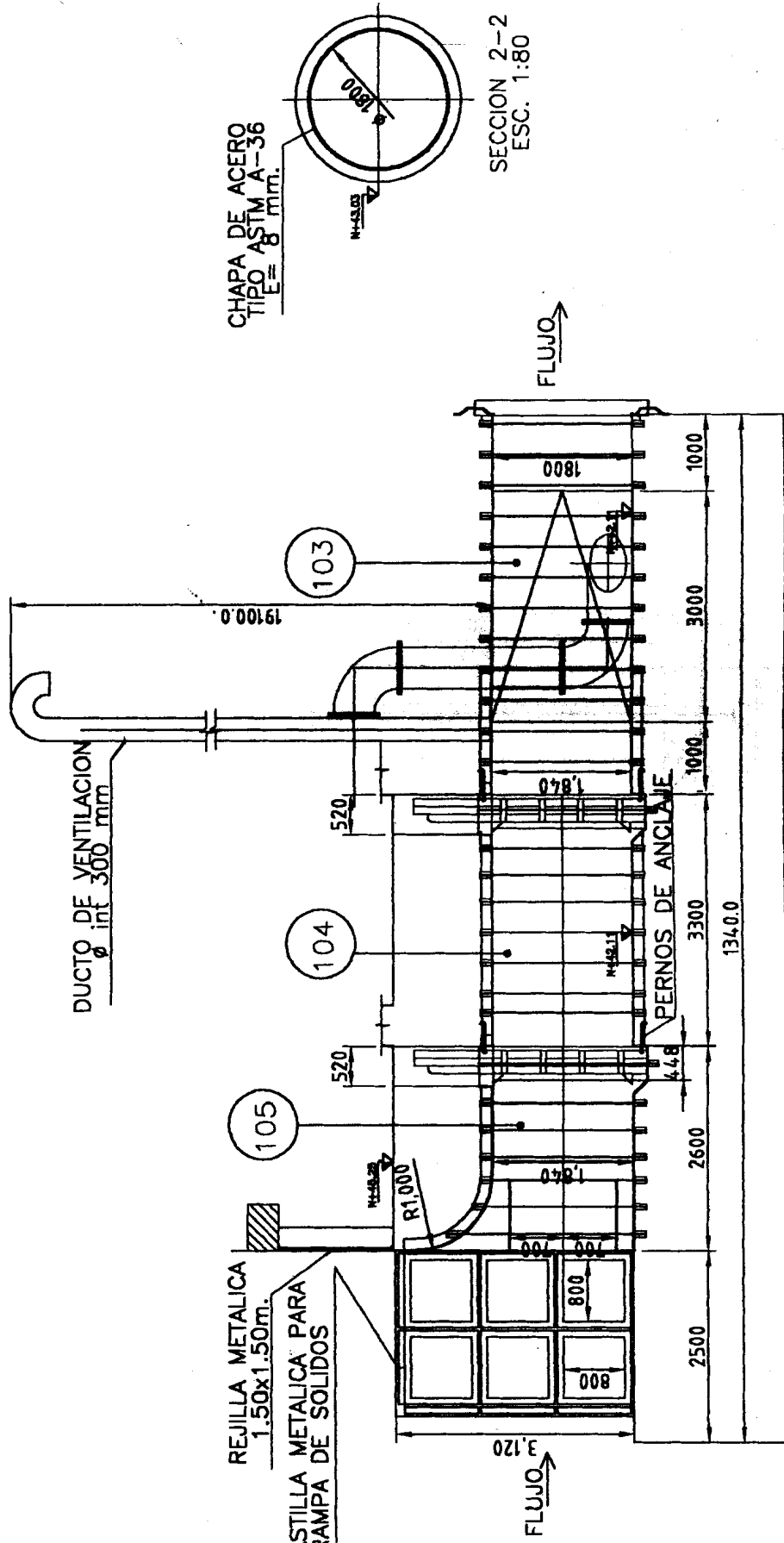
GRID GLOBAL X "1" -70
GRID GLOBAL X "2" -52.5
GRID GLOBAL X "3" -35
GRID GLOBAL X "4" -17.5
GRID GLOBAL X "5" 0
GRID GLOBAL X "6" 17.5
GRID GLOBAL X "7" 35
GRID GLOBAL X "8" 52.5
GRID GLOBAL X "9" 70
GRID GLOBAL Y "10" -34.20201
GRID GLOBAL Y "11" -25.8819
GRID GLOBAL Y "12" -17.36482
GRID GLOBAL Y "13" -8.715574
GRID GLOBAL Y "14" 0
GRID GLOBAL Y "15" 8.715574
GRID GLOBAL Y "16" 17.36482
GRID GLOBAL Y "17" 25.8819
GRID GLOBAL Y "18" 34.20201
GRID GLOBAL Z "19" 1.256464E-06
GRID GLOBAL Z "20" 2.623322
GRID GLOBAL Z "21" 4.511514
GRID GLOBAL Z "22" 5.650208
GRID GLOBAL Z "23" 6.030739
MATERIAL STEEL FY 2531.051
MATERIAL CONC FYREBAR 4218.417 FYSHEAR 2812.278 FC 281.2278 FCSHEAR
281.2278
STATICLOAD LOAD1 TYPE DEAD
STATICLOAD LOAD2 TYPE LIVE
END SUPPLEMENTAL DATA



PLANTA NIVEL +43.03
ESC. 1:80

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

| FECHA | | NOMBRE | DESIGNACIÓN | ESCALA: |
|--------------|---------|-----------|--|-------------|
| El. | XIXX/XX | F. Nombre | PLANO GENERAL Vista de Planta | 1:80 |
| Dev. | XIXX/XX | M. Nombre | | |
| Apr. | XIXX/XX | M. Nombre | | |
| ESPOL | | | PLANO N°: | |
| | | | 001 | |



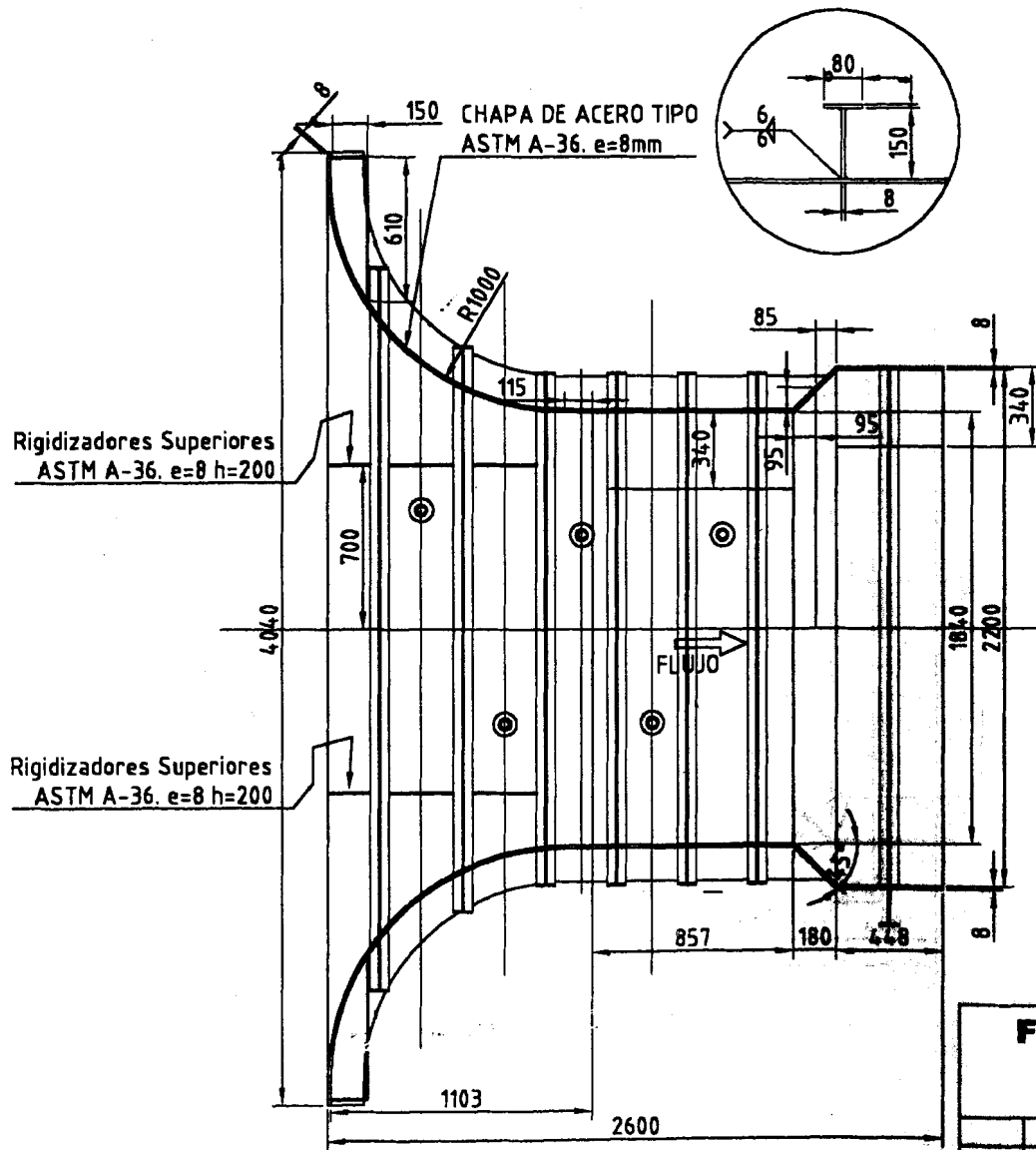
SECCION 1-1
 ESC. 1:80

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
 Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

| FECHA | | NOMBRE | | ESCALA |
|---------------------|------|-------------|-------------|--------|
| Dib. | Cor. | P. Mecánico | P. Mecánico | |
| | | | | 1:80 |
| | | | | |
| PLANO GENERAL | | | | 002 |
| Secciones 1-1 y 2-2 | | | | |
| PLANO N° 1 | | | | |

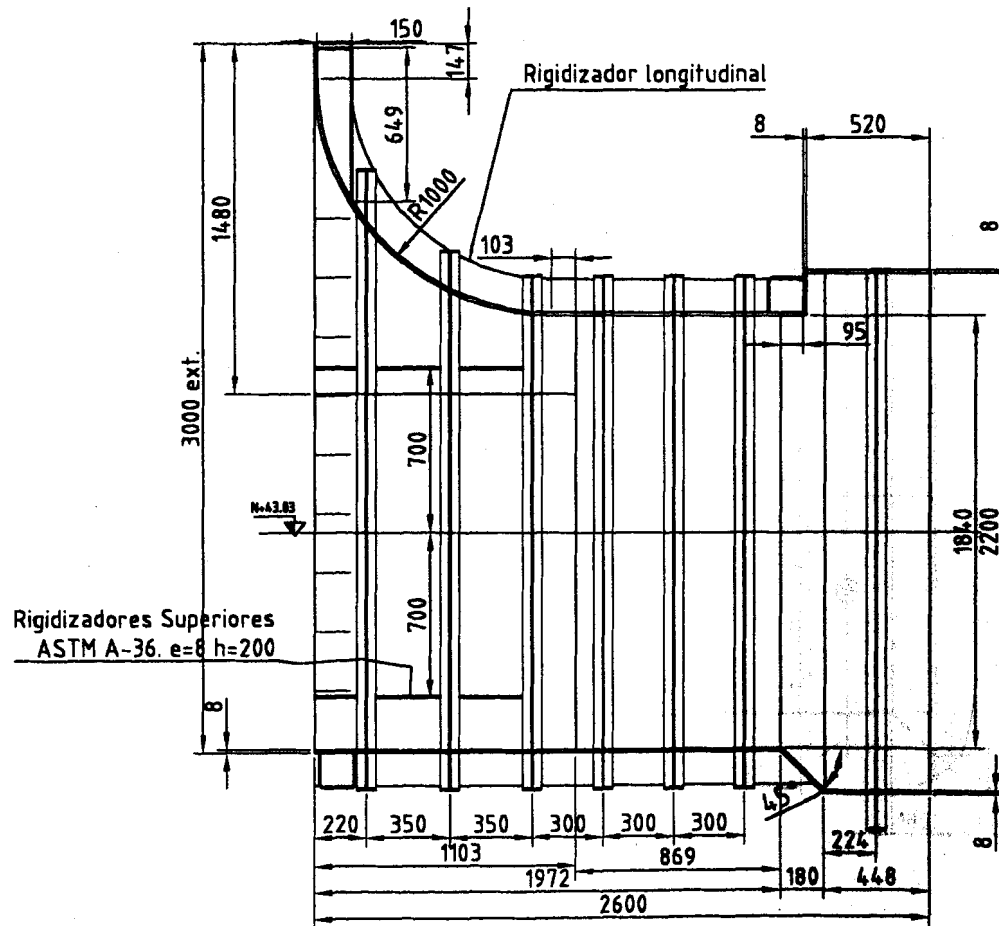
ESPOL





**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

| FICHA | | NOMBRE | DESIGNACIÓN | ESCALA |
|--------------|-------|---------------|---|-------------|
| Dir. | ZARCO | F. Secretario | TRANSICIÓN INICIAL Vista de Planta | 1:30 |
| Rep. | ZARCO | M. Holguero | | |
| Apl. | ZARCO | M. Holguero | | |
| ESPOL | | | PLANO N°: | |
| | | | 003 | |

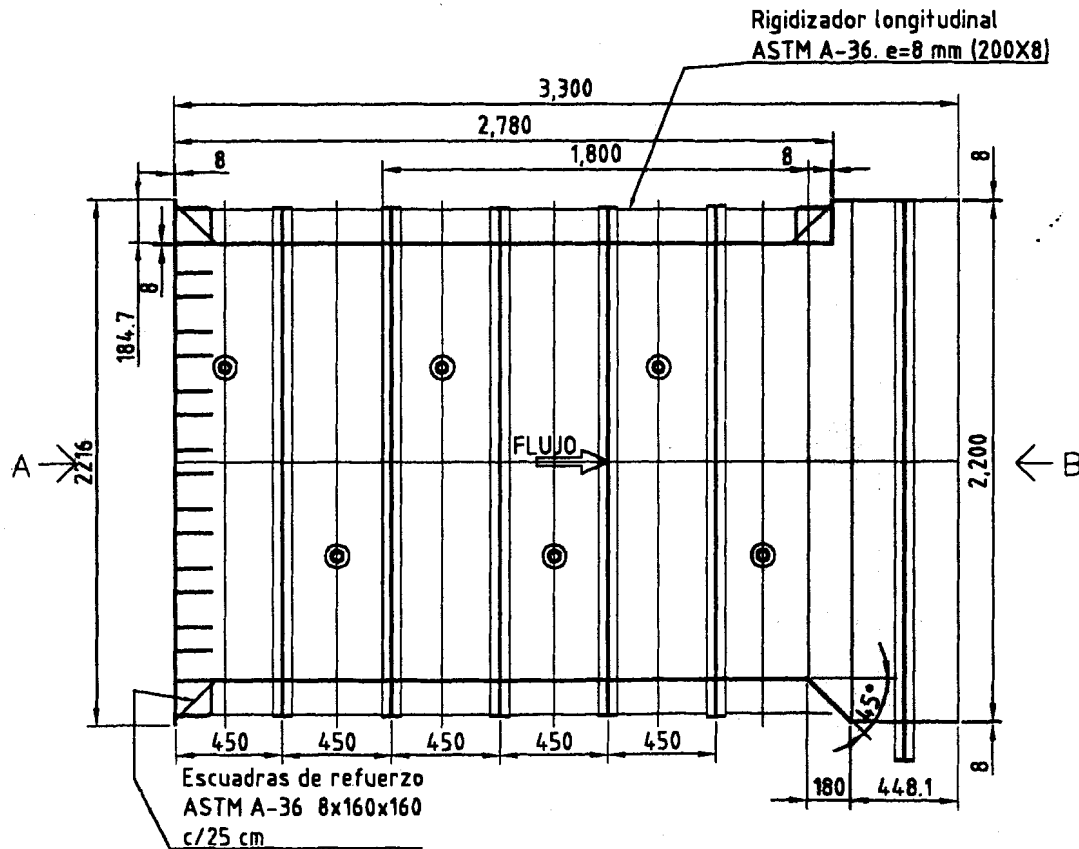


CUERPO 105
ESC. 1:30

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

| FECHA | | NOMBRE | | DESCRIPCIÓN | ESCALA |
|--------|----------|--------------|--|-------------|--------|
| Elab. | XIV/2008 | F. Martínez | | | |
| Rev. | XIV/2008 | M. Melgarejo | | | |
| Aprob. | XIV/2008 | M. Melgarejo | | | |

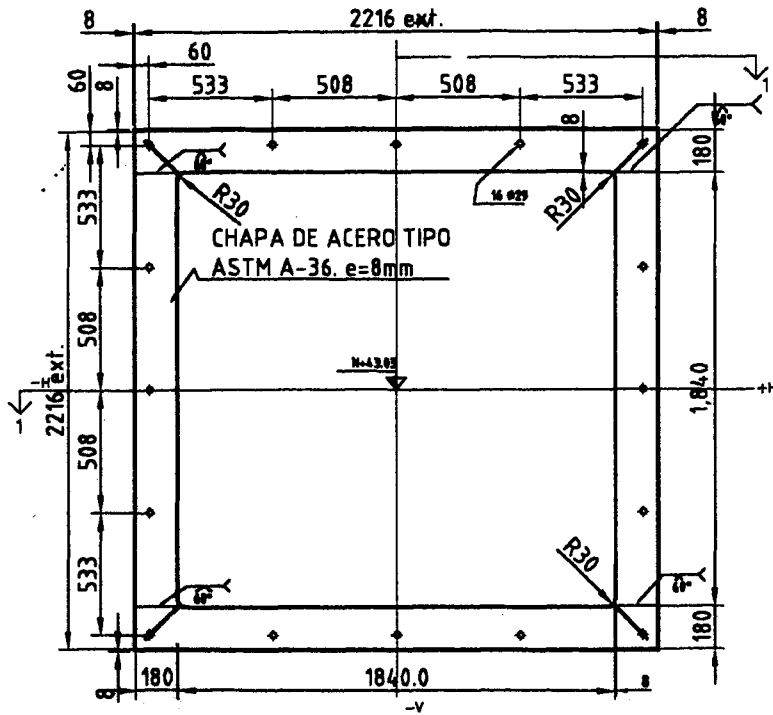
ESPOL PLANO N°: **004**



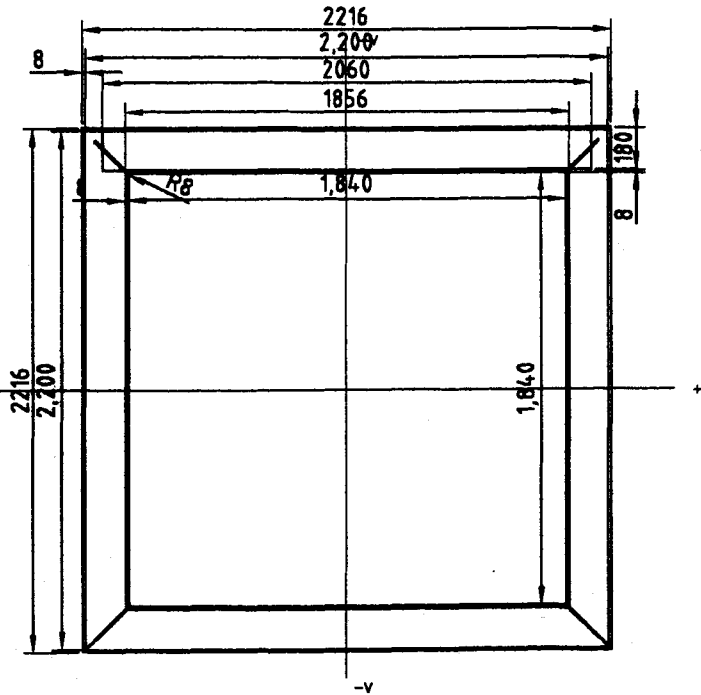
CUERPO 104
ESC. 1:30

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

| FECHA | | NOMBRE | | DENOMINACIÓN | ESCALA | | |
|--------------|--------|-------------|--|--------------------------|--------|---|-------------|
| Dib. | XXXXXX | F. Montalvo | | | | DUCTO CUADRADO Vista de Planta | 1:30 |
| Rev. | XXXXXX | M. Molgares | | | | | |
| Apr. | XXXXXX | M. Molgares | | | | | |
| ESPOL | | | | PLANO N° 1 005 | | | |



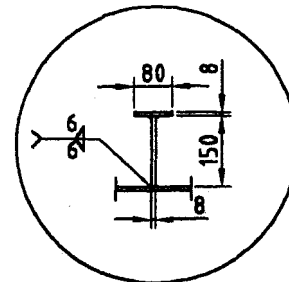
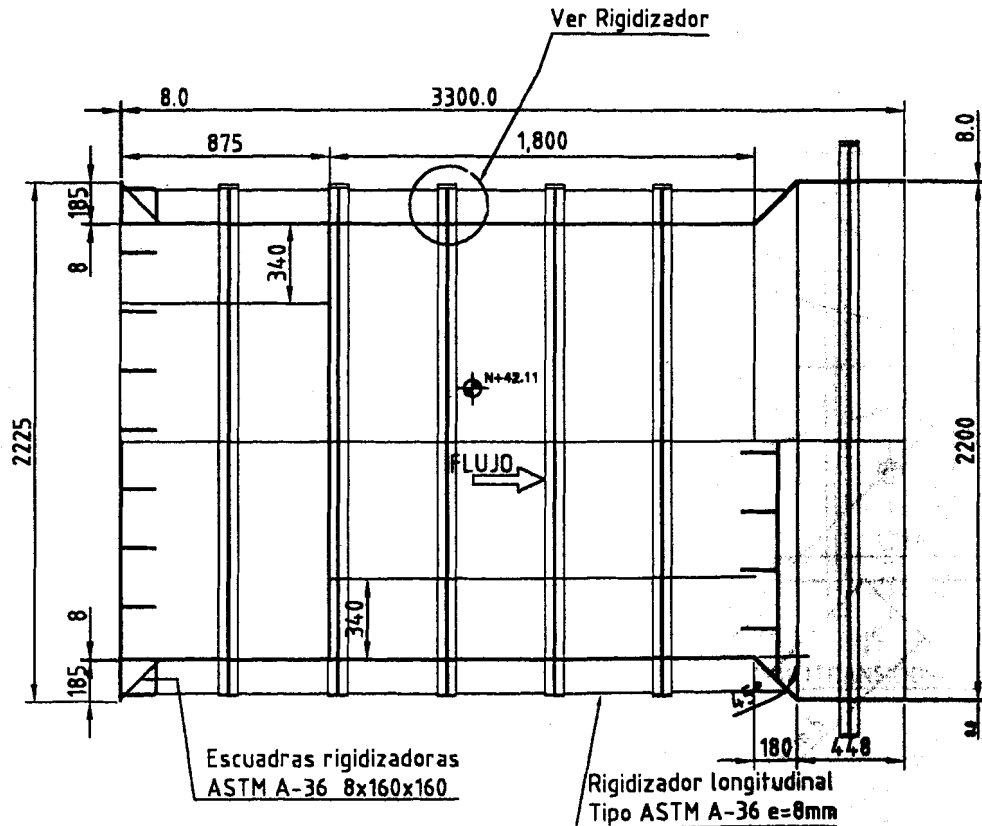
VISTA A
ESC. 1:20



VISTA B
ESC. 1:20

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

| | FECHA | NOMBRE | DESIGNACIÓN | ESCALA |
|--------------|---------|-------------|---------------------------------------|-------------|
| Dib. | XXXX/XX | F. Montalvo | DUCTO CUADRADO Vista A y B | 1:20 |
| Rev. | XXXX/XX | M. Holguero | | |
| App. | XXXX/XX | M. Holguero | | |
| ESPOL | | | PLANO N°: 006 | |



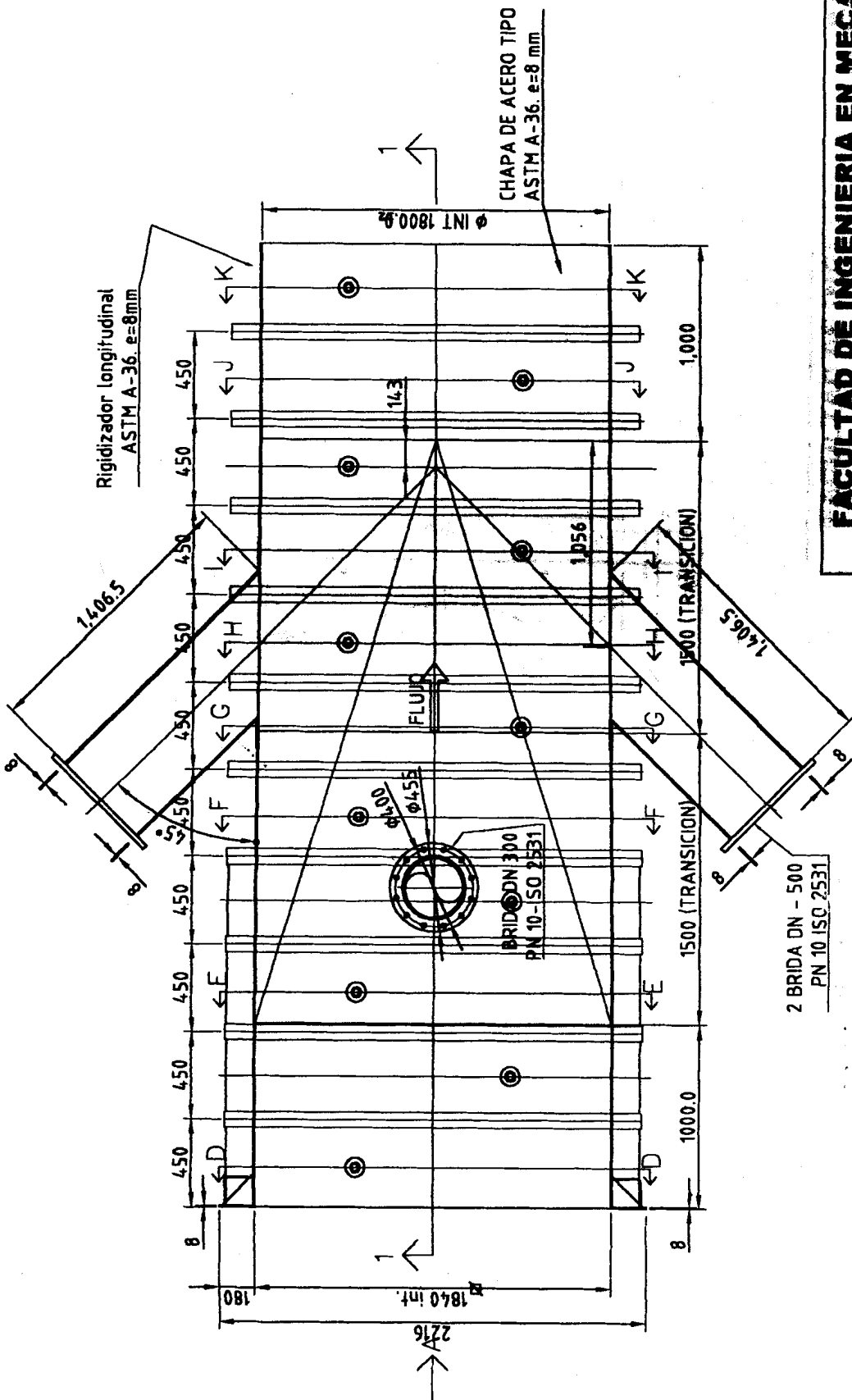
Rigidizador

Escuadras rigidizadoras
ASTM A-36 8x160x160

Rigidizador longitudinal
Tipo ASTM A-36 e=8mm

SECCION 1-1
ESC. 1:30

| FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN | | | |
|---|--------------|---|-------------|
| FECHA | MODIFICACION | DESIGNACION | ESCALA |
| 01/03/2008 | P. Guerrero | DUCTO CUADRADO Sección 1-1 | 1:30 |
| 01/03/2008 | M. Salgado | | |
| 01/03/2008 | M. Salgado | | |
| ESPOL | | PLANO N°: 007 | |



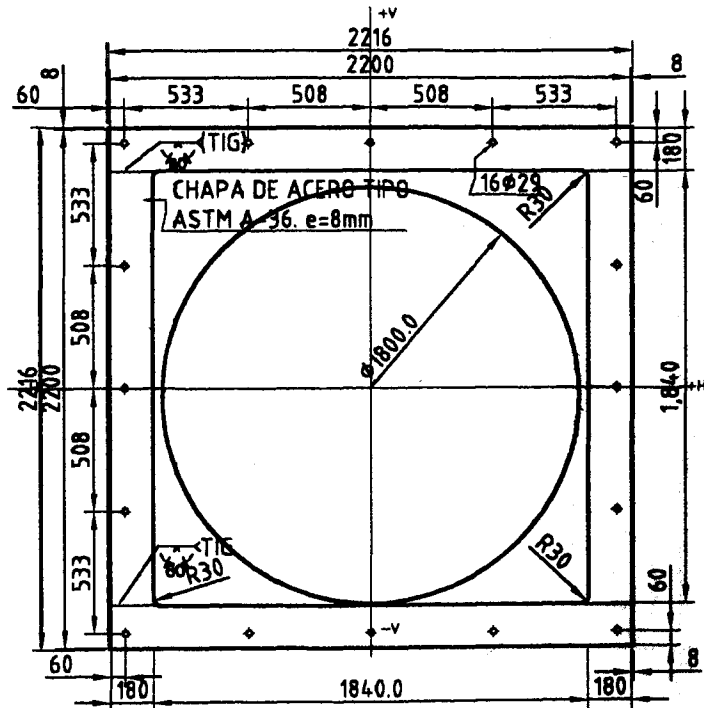
**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

| | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| PROYECTO | INSTRUMENTOS | ESCALA | 1:30 | |
| TRANSICIÓN FINAL | TRANSICIÓN FINAL | TRANSICIÓN FINAL | TRANSICIÓN FINAL | TRANSICIÓN FINAL |
| Vista de Planta | Vista de Planta | Vista de Planta | Vista de Planta | Vista de Planta |
| PLANO N° 1 | | | 008 | |

PLANTA
ESC. 1:30

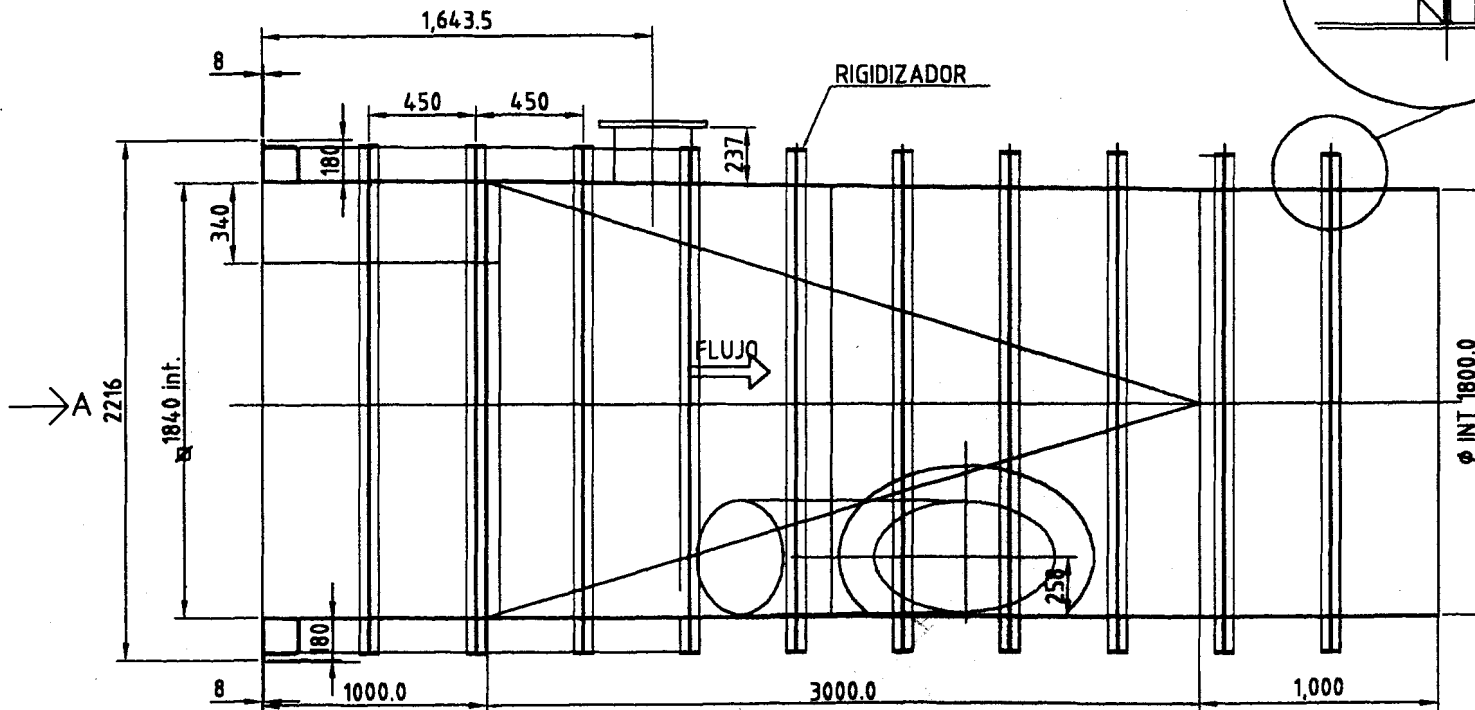
2 BRIDA DN - 500
PN 10 ISO 2531

ESPOL



VISTA A
ESC. 1:30

| FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN | | | | |
|---|--------|--------------|-------------------------------------|-------------|
| | TITULO | NOMBRE | DESIGNACIÓN | ESCALA |
| Al. | 200000 | F. Martínez | TRANSICIÓN FINAL Vista A | 1:30 |
| Op. | 200000 | G. Melgarejo | | |
| Ap. | 200000 | G. Melgarejo | | |
| ESPOL | | | PLANO N°: | |
| | | | 009 | |



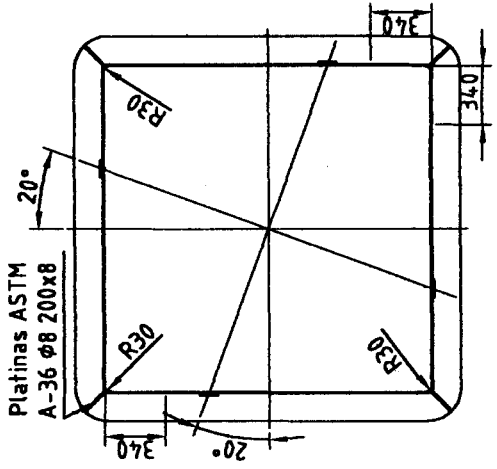
SECCION 1-1
ESC. 1:30

**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

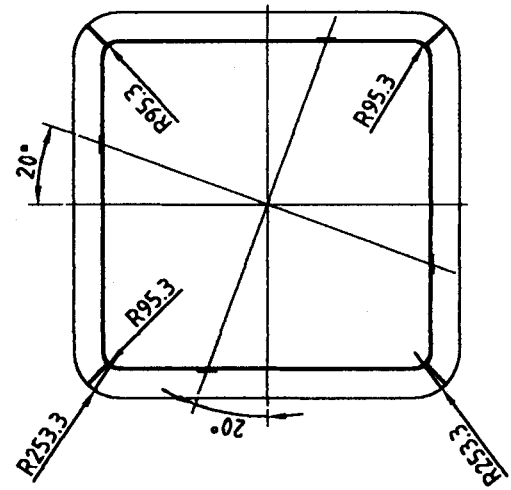
| | FECHA | NOMBRE | DESIGNACIÓN | ESCALA |
|--------------|--------|--------------|---|-------------|
| El. | X/2000 | F. Martínez | TRANSICIÓN FINAL Sección 1-1 | 1:30 |
| Des. | X/2000 | M. Melgarejo | | |
| Apr. | X/2000 | M. Melgarejo | | |
| ESPOL | | | PLANO N°: | 010 |



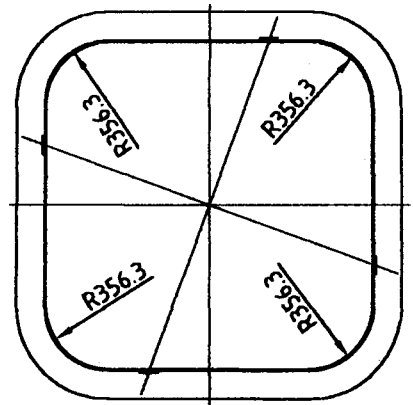
Platinas ASTM
A-36 ϕ 8 200x8



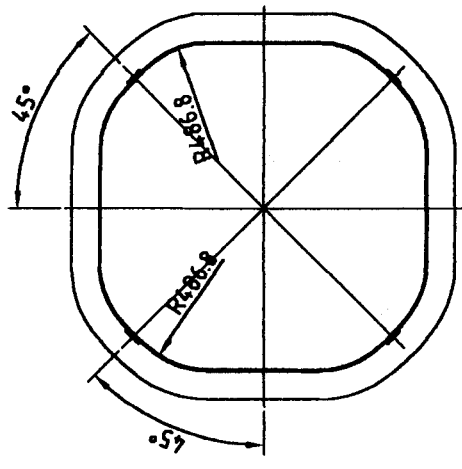
SECCION D-D



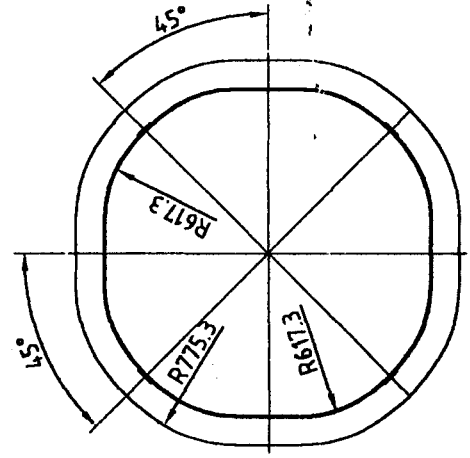
SECCION E-E



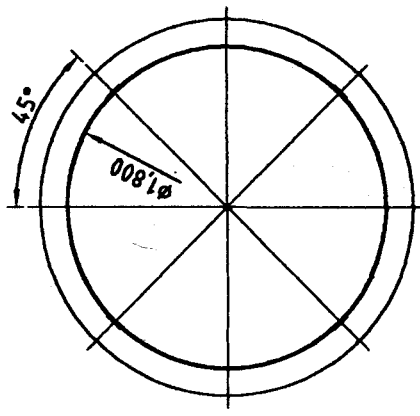
SECCION F-F



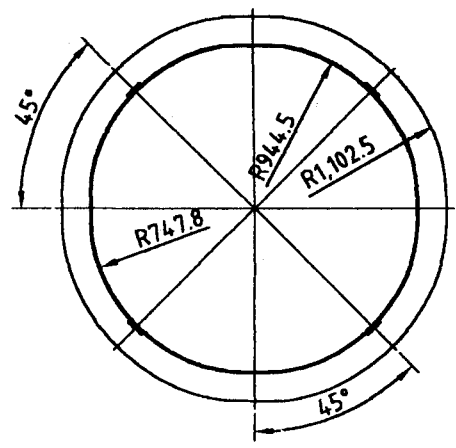
SECCION G-G



SECCION H-H



SECCION J y K



SECCION I-I

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

| FECHA | | NOMBRE | | DENOMINACIÓN | | ESCALA | |
|-------|-----------|--------|-----------|----------------------|--|-----------|--|
| Di. | EXECUCION | P. | REVISADO | TRANSICIÓN FINAL | | 1:40 | |
| Rev. | EXECUCION | El. | Elaborado | Detalle de Secciones | | | |
| Apr. | EXECUCION | El. | Elaborado | | | PLANO N°1 | |

ESPOL

011



BIBLIOGRAFÍA

- 1) **IV ENCUENTRO DE INGENIEROS HIDRÁULICOS CONFERENCIA,**
Guayaquil, "Complejo Hidráulico San Vicente, por Ortiz Safadi Guido"
(Ingeniero Civil, 1979), pp. 1 – 4.
- 2) **ASME CODE, Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII Division 1.**
Edición 1995.
- 3) **AISC, Manual of steel construction.**
Ninth edition.
- 4) **DEN HARTOG, Advanced Strength of materials.**
- 5) **SEELY – SMITH, Resistencia avanzada de materiales, Edición 1962,**
UTEHA.
- 6) **STEEL STRUCTURE PAINTING COUNCIL CODE (SSPC) .**
- 7) **CODIGOS ANSI / AWWA.**
- 8) **ASTM de ensayos y pruebas de materiales.**

APPENDIX 13

VESSELS OF NONCIRCULAR CROSS SECTION

13-1 SCOPE

(a) The rules in Appendix 13 cover minimum requirements for the design, fabrication, and inspection of single wall vessels having a rectangular or obround cross section. The rules of this Appendix apply to the walls and parts of the vessels subject to pressure stresses including stiffening, reinforcing and staying members.

(b) All other parts of this Division shall apply unless otherwise stated in this Appendix.

(c) As stated in U-2(g), this Division does not contain rules to cover all details of design and construction. These rules are, therefore, established to cover some common types of noncircular cross section vessels but are not intended to limit configurations to those illustrated or otherwise described herein.

(d) In 13-18 special consideration is given to the calculation of applied and allowable stresses when the structure contains butt welded joints or row of holes at locations other than at side plate midlengths.

13-2 TYPES OF VESSELS

The design equations given in this Appendix shall apply to the single wall vessels as illustrated in Fig. 13-2(a) for vessels of rectangular cross section, in Fig. 13-2(b) for vessels having an obround cross section, and in Fig. 13-2(c) for vessels of circular section with a single diametral stay plate.

(a) *Rectangular Vessels.* Figure 13-2(a) illustrates some basic types of vessels as follows.

(1) Figure 13-2(a) sketch (1) shows a vessel of rectangular cross section in which the opposite sides have the same wall thickness. Two opposite sides may have a wall thickness different than that of the other two opposite sides.

(2) Figure 13-2(a) sketch (2) shows a vessel of rectangular cross section in which two opposite members have the same thickness and the other two members have two different thicknesses.

(3) Figure 13-2(a) sketch (3) shows a vessel of rectangular cross section having uniform wall thickness and corners bent to a radius. For corners which are cold formed, the provisions of UG-79 and UCS-79 or UHT-79 shall apply.

(4) Figure 13-2(a) sketch (4) shows a vessel of rectangular cross section [as in (1) above] but reinforced by welded-on members.

(5) Figure 13-2(a) sketch (5) shows a vessel of rectangular cross section [as in (3) above] but externally reinforced by members welded to the flat surfaces of the vessel.

(6) Figure 13-2(a) sketch (6) shows a vessel of rectangular cross section with chamfered corner segments joined to the adjacent sides by small curved segments with constant radii and with external reinforcing members welded to the flat sides of the vessel.

(7) Figure 13-2(a) sketch (7) shows a vessel of rectangular cross section [as in (1) above] but having two opposite sides stayed at midlength.

(8) Figure 13-2(a) sketch (8) shows a vessel of rectangular cross section [as in (1) above] but having two opposite sides stayed at the third points.

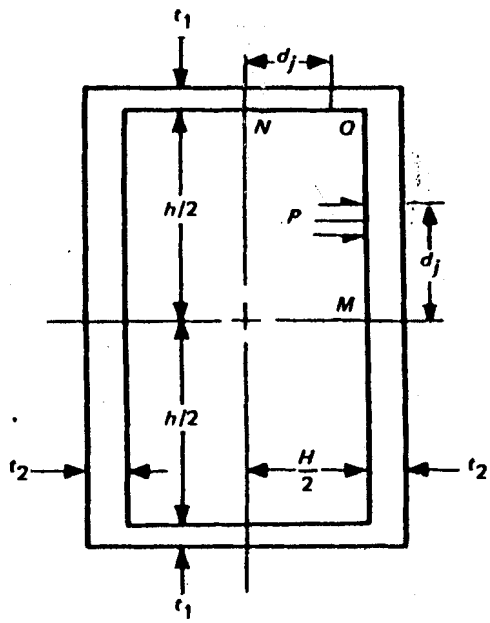
(9) Figure 13-2(a) sketches (9) and (10) show vessels of rectangular cross section [as in (1) above] but having two opposite sides stayed such that the compartments have different dimensions. There is no restriction on the number of staying members used.

(b) *Obround Vessels.* Figure 13-2(b) illustrates some basic types of vessels as follows.

(1) Figure 13-2(b) sketch (1) shows a vessel of obround cross section in which the opposite sides have the same wall thickness. The flat side walls may have a different thickness than the wall thickness of the semicylindrical parts.

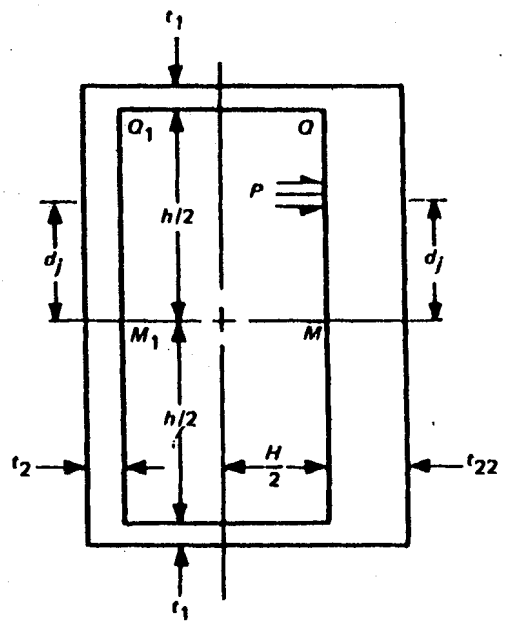
(2) Figure 13-2(b) sketch (2) shows a vessel of obround cross section [as in (1) above] but reinforced by welded-on members.

(3) Figure 13-2(b) sketch (3) shows a vessel of obround cross section [as in (1) above] but having the flat side plates stayed at midlength.



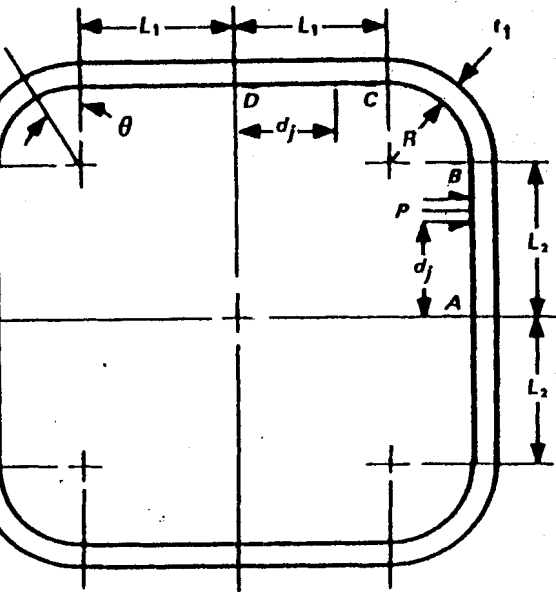
(1)

[See Notes (1) and (4)]



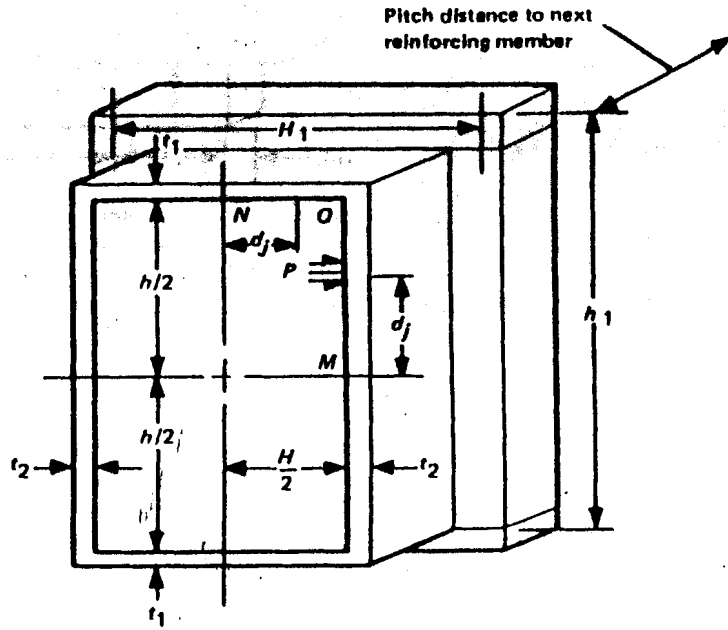
(2)

[See Notes (1) and (4)]



(3)

[See Notes (1) and (4)]



(4)

[See Notes (1) and (4)]

FIG. 13-2(a) VESSELS OF RECTANGULAR CROSS SECTION

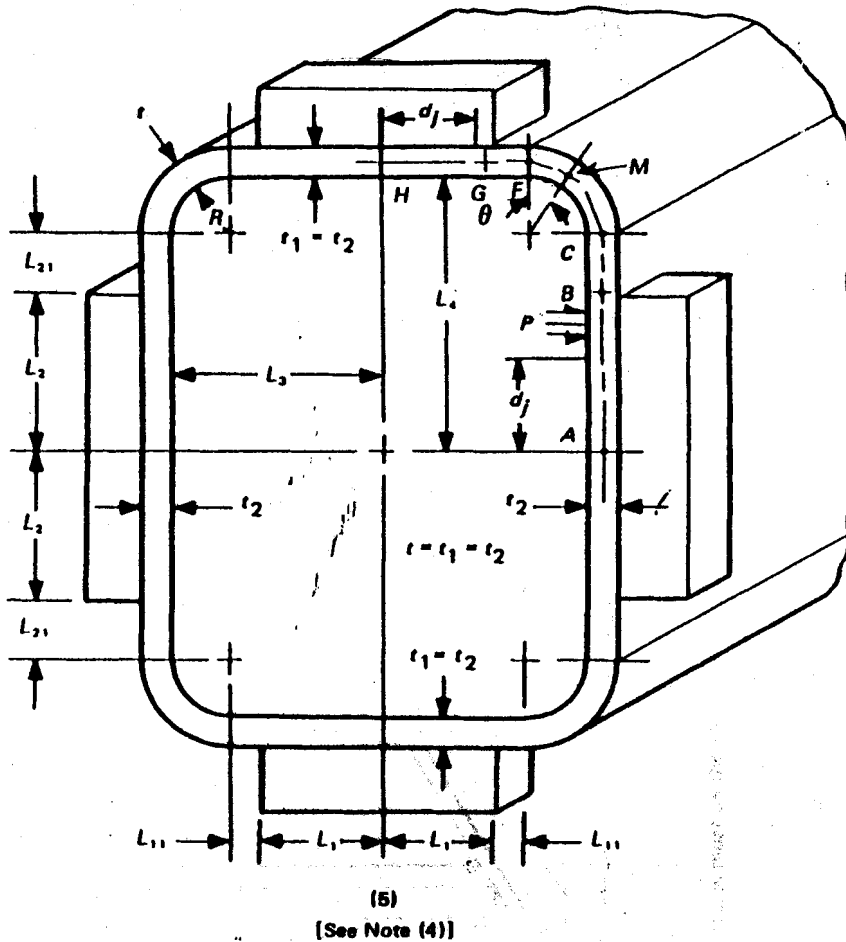


FIG. 13-2(a) VESSELS OF RECTANGULAR CROSS SECTION (CONT'D)

(c) *Stayed Vessel of Circular Cross Section.* Figure 13-2(c) illustrates a vessel of circular cross section containing a single diametral staying plate which also acts as a pressure surface when the two compartments of the vessel are subject to different internal pressures.

13-3 MATERIALS

Materials used in the fabrication of vessels described herein shall be in accordance with Subsection A.

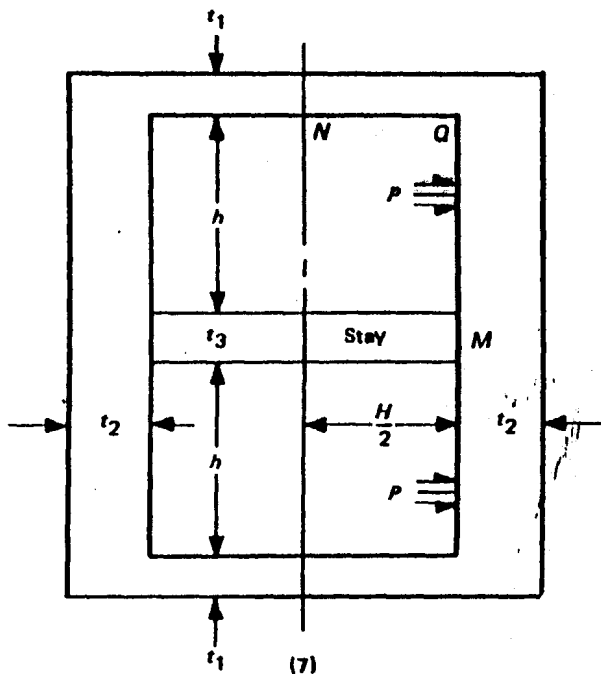
13-4 DESIGN OF VESSELS OF NONCIRCULAR CROSS SECTION

Design shall comply with the applicable requirements of Subsection A except where otherwise provided for in this Appendix.

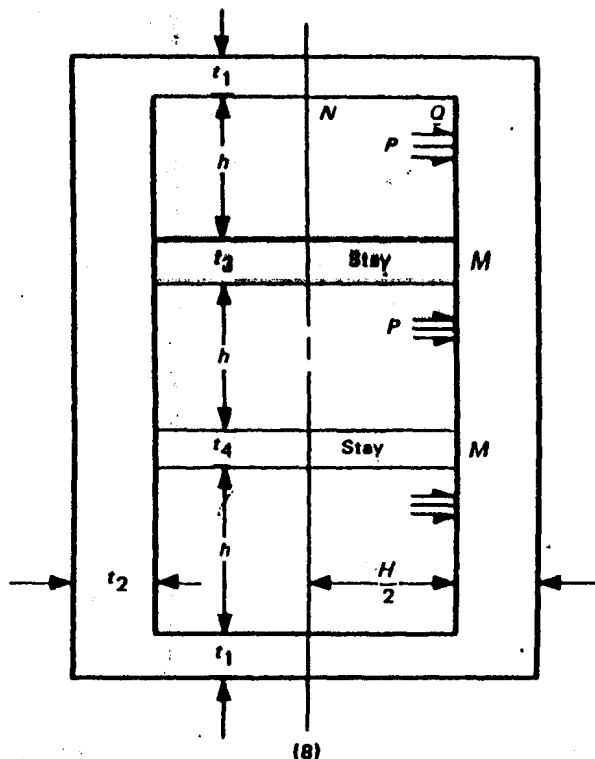
(a) Wall thicknesses of parts of vessels described herein shall be determined by the appropriate formulas or methods given in Subsection A and in this Appendix. Since, in a rectangular or obround vessel, the walls can have different thicknesses, many of the formulas contained herein require solution by assuming a thickness, or thicknesses, and solving for stress which is then compared with the allowable stress value.

(b) Design according to this Appendix is based on both membrane and bending stresses. Membrane stresses due to pressure and mechanical loads shall not exceed the design stress S , the value contained in the allowable stress tables (see UG-23). At the weld joint, these membrane stresses shall not exceed an allowable design stress SE , where E is a joint efficiency factor [see 13-5, 13-18, UW-12, and UG-23(c)]. The joint efficiency factor E shall also be applied to the allowable design stress for evaluation of the calculated bending stress





(See Notes (1) and (2))



(See Notes (1) and (2))

FIG. 13-2(a) VESSELS OF RECTANGULAR CROSS SECTION (CONT'D)

S_b at the location of the joint only. See 13-1(d), 13-5 footnote 1, and 13-8(b).

Any combination of membrane plus bending tension or compression stress induced by pressure and/or mechanical loads, shall not exceed the following limits:

(1) for plate section of rectangular cross section, 1.5 times the allowable design stress SE ;

(2) for other cross sections (such as composite reinforced bar or shapes and plate sections, etc.), the lesser of:

(a) 1.5 times the design stress SE ; or

(b) two-thirds times the yield strength S_y of the material at the design temperature (see 13-5 for S_y) except that due to the relatively low yield strength of some materials listed in Table UNF-23.3 or Table UHA-23, higher stress values were established in Section II, Part D at temperatures where the short-time tensile properties govern to permit the use of these alloys where slightly greater deformation is acceptable. These higher stress values exceed $\frac{2}{3}$ but do not exceed 90% of the yield strength at temperature. Use of these stresses may result in dimensional changes due to

permanent strain. These stress values are not recommended for the flanges of gasketed joints or other applications where slight amounts of distortion can cause leakage or malfunction. For these materials, the yield strength limits may be:

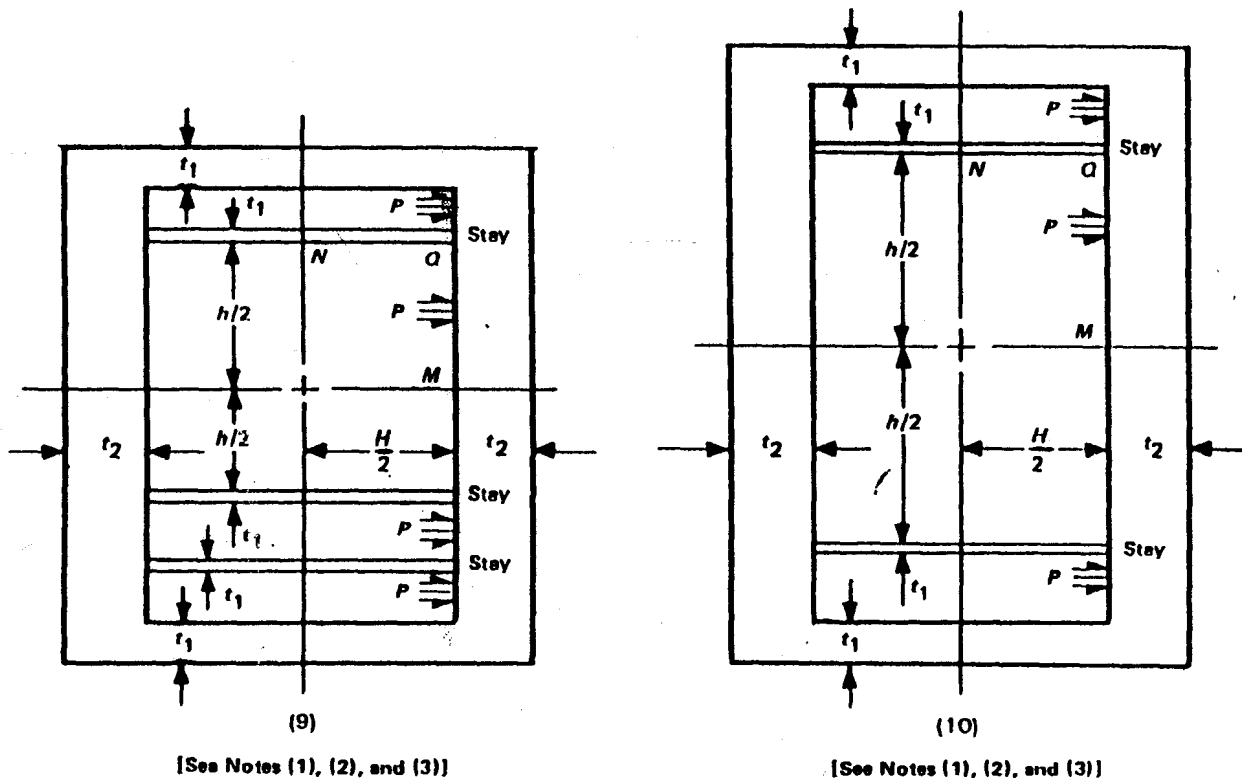
(1) 90% of yield strength at design temperature, but not more than;

(2) two-thirds of the specified minimum yield strength for the material at room temperature.

(c) The total stresses (membrane plus bending) at each cross section for vessels with and without reinforcements shall be calculated as follows.

(1) For vessels without reinforcements and for vessels with reinforcements which have the same allowable stress S (from the tables in Subpart I of Section II, Part D) and the same yield stress S_y at the design temperature, there are two values of bending stresses to be determined at each cross section. There is one stress value for the outermost surface of the shell plate or the reinforcement (when used) and one stress value for the inner surface of the shell plate.

The sign convention necessary to establish the proper algebraic sign of the stresses for combining membrane



[See Notes (1), (2), and (3)]

[See Notes (1), (2), and (3)]

NOTES:

- (1) See UW-13 for corner joints.
- (2) See UG-47, UG-48, UG-49, and UW-19 for stay bars.
- (3) The compartments in sketches (8) and (9) have different dimensions.
- (4) See 13-18 for weld efficiency calculations.

FIG. 13-2(a) VESSELS OF RECTANGULAR CROSS SECTION (CONT'D)

and bending stresses to obtain the total stresses is as follows:

- (a) for both membrane and bending stresses:
 - (1) plus (+) signifies tension stress; and
 - (2) minus (-) signifies compression stress.
- (b) for bending stress:
 - (1) c_o = term is always negative;
 - (2) c_i = term is always positive.

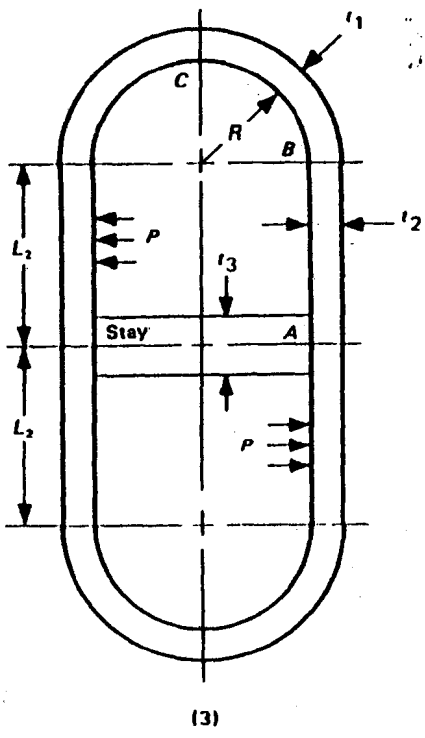
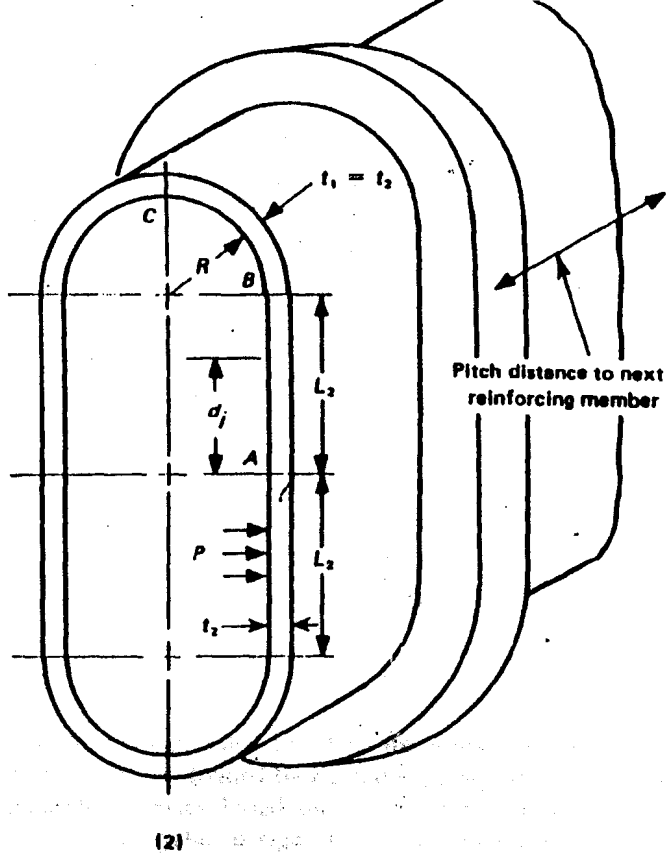
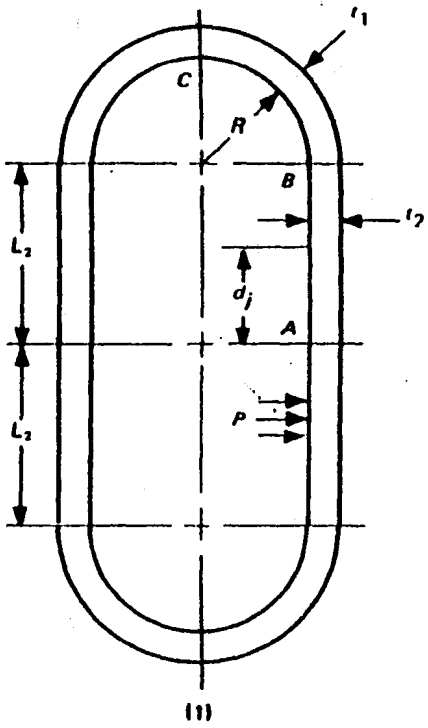
A positive bending moment produces compression in the outermost fibers of the cross section. The bending moment at the midpoint of the long side of vessels without stays will always be negative.

At each cross section, the membrane stress is added algebraically to the bending stress at both the outermost surface of the shell plate or reinforcement (when used)

and the innermost surface of the shell plate to obtain two values of total stress. The total stresses at the section shall be compared to the allowable design stress calculated as specified in 13-4(b).

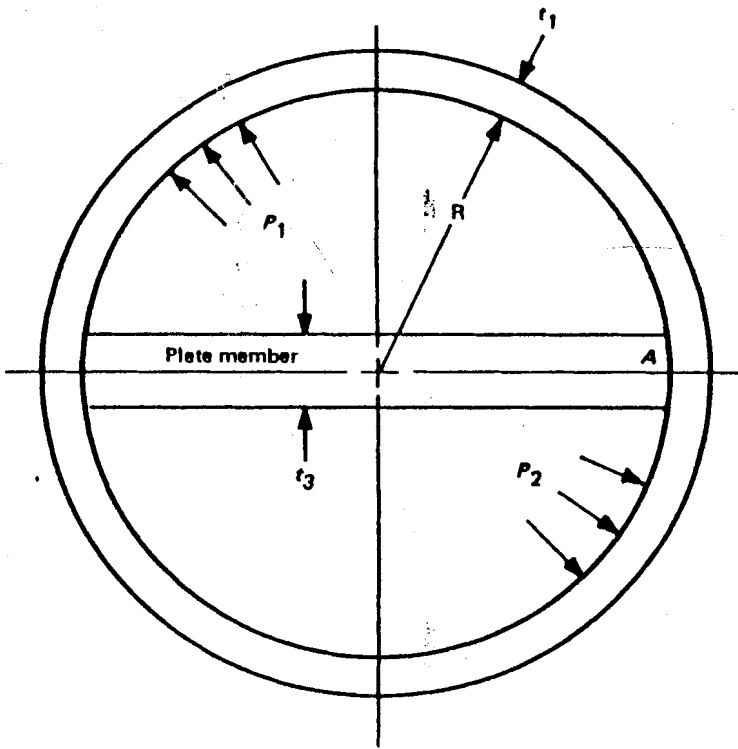
(2) When the reinforcing members and the shell plate do not have the same S and S_y values at the design temperature, the total stress shall be determined at the innermost and outermost fibers for each material. The appropriate c values (with proper signs, 13-5) for the composite section properties shall be used in the bending equations. The total stresses at the innermost and outermost fibers for each material shall be compared to the allowable design stress 13-4(b) for each material.

(d) Particular attention shall be given to the effects of local internal and external loads and expansion



NOTES
 (1) See UW 13 for corner joints.
 (2) See UG-47, UG-48, UG-49, and UW-19 for stay bars.
 (3) See 13-8 for weld efficiency calculations.

FIG. 13-2(b) VESSELS OF OBROND CROSS SECTION



NOTE: See UW-13 for corner joints.

FIG. 13-2(c) VESSEL OF CIRCULAR CROSS SECTION WITH CENTRAL DIVIDING PLATE

differentials at design temperature, including reactions at supporting lugs, piping, and other types of attachments, as specified in UG-22.

(e) Except as otherwise specified in this Appendix, vessel parts of noncircular cross section subject to external pressure shall be designed in accordance with U-2(g).

(f) The end closures for vessels of this type shall be designed in accordance with the provisions of U-2(g) and/or UG-101 except in cases where the ends are flat plates subject to rating under the rules of UG-34. Unstayed flat heads used as welded end plates for vessels described in this Appendix shall conform to the rules of UG-34 except that a *C* factor of 0.20 shall be used in all cases.

(g) The requirements for ligaments prescribed in UG-33 shall apply except as modified in 13-6 for the case of multidiameter holes in plates. [See 13-18(b)].

The ligament efficiencies e_m and e_b shall only be applied to the calculated stresses for the plates containing the ligaments.

(1) When e_m and e_b are less than the joint efficiency E (see 13-5 and UW-12), which would be used if there were no ligaments in the plate, the membrane and

bending stresses calculated based on the gross area of the section shall be divided by e_m and e_b , respectively, to obtain the stresses based on the net area for the section. The allowable design stresses for membrane and membrane plus bending shall be calculated as described in 13-4(b) using $E = 1.0$.

(2) When e_m and e_b are greater than the joint efficiency E , which would be used if there were no ligaments in the plate, the stresses shall be calculated as if there were no ligaments in the plate. The allowable design stresses for membrane and membrane plus bending shall be calculated as described in 13-4(b) using the appropriate E factor required by UW-12.

(h) The design equations in this Appendix are based on vessels in which the length L_v to side dimension (H or h), ratio (aspect ratio) is greater than 4. These equations are conservatively applicable to vessels of aspect ratio less than 4 and may thus be used as specified in this Appendix. Vessel sideplates with aspect ratios less than 4 are strengthened by the interaction of the end closures and may be designed in accordance with the provisions of U-2(g) by using established techniques of structural analysis. Membrane and bending stresses shall be determined throughout the structure

and shall not exceed the allowable values established in this Appendix. Short unreinforced or unstayed vessels of rectangular cross section having an aspect ratio not greater than 2.0 may be designed in accordance with 13-18(b) and (c).

(i) Bolted full-side or end plates and flanges may be provided for vessels of rectangular cross section. Many acceptable configurations are possible. Therefore, rules for specific designs are not provided, and these parts shall be designed in accordance with the provisions of UG-34 for unstayed flat plates and U-2(g) for the flange assembly. Analysis of the components must consider gasket reactions, bolting forces, and resulting moments, as well as pressure and other mechanical loading.

(j) Openings may be provided in vessels of noncircular cross section as follows:

(1) Openings in noncircular vessels do not require reinforcement other than that inherent in the construction, provided they meet the conditions given in UG-36(c)(3).

(2) The reinforcement of other openings in noncircular vessels shall comply with UG-39 as a minimum. Compensation for openings in noncircular vessels must account for the bending strength as well as the membrane strength of the side with the opening. In addition, openings may significantly affect the stresses in adjacent sides. Because many acceptable configurations are possible, rules for specific designs are not provided [see U-2(g)].

(k) The equations for the areas, moments of inertia, and bending moments for all vessel configurations without external reinforcements are given for cross sections with a unit width ($b = 1.0$ in.). Since the unit width term does not affect the magnitude of the terms being calculated, it is not shown in the equations for vessel configurations without external reinforcements. For width of cross section for vessels with reinforcements, see 13-8(d).

13-5 NOMENCLATURE

Symbols used in this Appendix are as follows:

$$A = R(2\gamma + \pi\alpha_2), \text{ in.}$$

A_1 = cross-sectional area of reinforcing member only attached to plate of thickness t_1 , in.²

A_2 = cross-sectional area of reinforcing member attached to plate of thickness t_2 , in.²

$$A_3 = r(2\gamma_1 + \pi), \text{ in.}$$

$$B = R^2(\gamma^2 + \pi\gamma\alpha_2 + 2\alpha_2), \text{ in.}^2$$

C = plate coefficient, UG-47

$$C_1 = R^2(2\gamma^2 + 3\gamma\pi\alpha_2 + 12\alpha_2), \text{ in.}^2$$

$$C_2 = r^2(2\gamma_1^2 + 3\pi\gamma_1 + 12), \text{ in.}^2$$

$$D_1 = R^3(\gamma^3 + 2\pi\gamma^2\alpha_2 + 12\gamma\alpha_2 + 2\pi\alpha_2), \text{ in.}^3$$

D_E = equivalent uniform diameter of multidiameter hole, in.

E = joint efficiency factor as required by UW-12 for all Category A butt joints (see UW-3) and to any Category C or D butt¹ joints. The joint efficiency factor is used as described in 13-4(b) and (g) to calculate the allowable design membrane and membrane plus bending stresses.

$$E_1 = R^3(4\gamma^3 + 6\pi\gamma^2\alpha_2 + 24\gamma\alpha_2 + 3\pi\alpha_2), \text{ in.}^3$$

E_2 = modulus of elasticity from Subpart 3 of Section II, Part D at design temperature, psi

E_3 = modulus of elasticity from Table NF-1 at ambient temperature, psi (see Subpart 2 of Section II, Part D)

$$F = (3AD_1 - 2BC_1)/(AE_1 - 6B^2)$$

H = inside length of short side of rectangular vessel, in.

= $2(L_1 + L_{11})$ for equations in 13-8(d) for Figs. 13-2(a) sketches (5) and (6)

H_1 = centroidal length of reinforcing member on short side of rectangular vessel, in.

H_O = outside length of short side of rectangular vessel, in.

I = moment of inertia, in.⁴

I_x = moment of inertia about axis parallel to long side of rectangular vessel and passing through centroid of cross-sectional area, in.⁴

I_1 = moment of inertia of strip of thickness² t_1 , in.⁴

I_2 = moment of inertia of strip of thickness² t_2 , in.⁴

I_3 = moment of inertia of strip of thickness² t_3 , in.⁴

I_{11} = moment of inertia of combined reinforcing member and effective width of plate w of thickness t_1 , in.⁴

I_{21} = moment of inertia of combined reinforcing member and effective width of plate w of thickness t_2 , in.⁴

I_{22} = moment of inertia of strip of thickness² t_{22} , in.⁴

J = plate parameter, Table 13-8(d)

¹ These joint efficiencies do not apply to Category C and D joints which are not butt welded, since stresses in these joints are controlled by the applicable rules for sizing such joints. See 3-2.

² $bt^3/12$ for unreinforced vessels and $pt^3/12$ for reinforced vessels, where $b = 1$ in.

J_1 = plate parameter, Table 13-13(c)

K = vessel parameter $(l_2/l_1)\alpha$

$K_1 = 2k_2 + 3$

$K_2 = 3k_1 + 2k_2$

K_3 = factor for unreinforced rectangular vessel [Fig. 13-2(a) sketch (3)]

K_4 = factor for reinforced rectangular vessel [Fig. 13-2(a) sketch (5)]

L_1 = half-length of short side of rounded or chamfered corner vessel without reinforcements; half-length of reinforcement on short side of reinforced vessel, in.

L_2 = half-length of long side plate of obround and rounded or chamfered corner rectangular vessels without reinforcements; half-length of reinforcement on long side of reinforced vessel, in.

L_3, L_4 = dimensions of rectangular vessel, [Fig. 13-2(a) sketches (5) and (6)], in.

L_{11} = dimension of rectangular vessel [Fig. 13-2(a) sketches (5) and (6)], in.

L_v = length of vessel, in.

M = bending moment, in.-lb

M_J = bending moment at weld joint, in.-lb

M_M = bending moment at midpoint of longside, in.-lb. Positive sign results in a compression stress in the outermost fibers in the cross section.

$N = K_1 K_2 - k_2^2$

P = internal design pressure,³ psi

P_e = external design pressure,³ psi

P_1, P_2 = internal design pressures³ in two-compartment vessel, Fig. 13-2(c) where $P_1 > P_2$, psi

R = inside radius, in.

R_1 = least radius of gyration of noncircular cross-sectional vessel, in.

S = allowable tensile stress values, psi (see UG-23)

S_b = bending stress (+ = tension, - = compression), psi

S_m = membrane stress, psi

S_T = total stress, $(S_m + S_b)$, psi

S_y = yield strength of material at design temperature from Table Y-1 in Subpart I of Section II, Part D, psi

T_n = length of hole of diameter d_n , in.

T_1 = length of hole of diameter d_1 , in.

T_2 = length of hole of diameter d_2 , in.

T_n = length of hole of diameter d_n , in.

\bar{X} = distance from base of plate to neutral axis, in.

\bar{Y}_1 = distance between centroid of reinforced cross section with l_{11} and center line of shell plate with t_1 [Fig. 13-2(a) sketch (6)], in.

\bar{Y}_2 = distance between centroid of reinforced cross section with l_{21} and center line of shell plate with t_2 [Fig. 13-2(a) sketch (6)], in.

Z = plate parameter, UG-34

$b_n = p - d_n$ (Fig. 13-6)

$b_1 = p - d_1$ (Fig. 13-6)

$b_2 = p - d_2$ (Fig. 13-6)

$b_n = p - d_n$ (Fig. 13-6)

c = distance from neutral axis of cross section to extreme fibers (see c_t and c_n), in. The appropriate c_t or c_n value shall be substituted for the c term in the stress equations.

c_t = distance from neutral axis of cross section of plate, composite section, or section with multidiameter holes (see 13-6) to the inside surface of the vessel, in. Sign is always positive (+).

c_n = distance from neutral axis of cross section of plate, composite section, or section with multidiameter holes (see 13-6) to the extreme outside surface of the section, in. Sign is always negative (-).

$\pm c_x$ = distance from neutral axis of cross section to any intermediate point. Sign is positive (+) when inward and sign is negative (-) when outward, in.

d_n = diameter of hole of length T_n (pitch diameter for threaded hole) (Fig. 13-6), in.

d_1 = diameter of hole of length T_1 (pitch diameter for threaded hole) (Fig. 13-6), in.

d_2 = diameter of hole of length T_2 (pitch diameter for threaded hole) (Fig. 13-6), in.

d_j = distance from midlength of plate to weld joint or center line of row of holes in the straight segment of the plate, in.

d_n = diameter of hole of length T_n (pitch diameter for threaded hole) (Fig. 13-6), in.

e_b = bending ligament efficiency [see 13-4(g), 13-6, and 13-18(b)]

e_m = membrane ligament efficiency [see 13-4(g), 13-6, and 13-18(b)]

h = inside length of long side of unstayed rectangular vessel; or dimension perpendicular to the H dimension in stayed vessels as shown in Fig. 13-2(a) sketches (7), (8), (9), and (10) in which case h may be greater than, equal to, or less than H , in.

$= 2(L_2 + L_{21})$ for equations in 13-8(d) for Fig. 13-2(a) sketches (5) and (6)

Load per unit length or load per unit area, as required.

- $= 2L_2$ for equations in 13-8(d) for Fig. 13-2(b) sketch (2)
- h_1 = centroidal length of reinforcing member on long side of rectangular vessel, in.
- h_o = outside length of long side of rectangular vessel, in.
- k = reinforcement member parameter
 $= (I_{21}/I_{11})\alpha_1$
- $k_1 = I_{22}/I_2$
- $k_2 = I_{22}\alpha/I_1$
- p = pitch distance; distance between reinforcing members; plate width between edges of reinforcing members, in.
- r = radius to centroidal axis of reinforcement member on obround vessel, in.
- t = plate thickness, in.
- t_1 = thickness of short-side plates of vessel, in.
- t_2 = thickness of long-side plates of vessel, in.
- t_{22} = thickness of long-side plates of vessel, in.
- t_3 = thickness or diameter of staying member, in.
- t_4 = thickness or diameter of staying member, in.
- t_5 = thickness of end closure plate or head of vessel, in.
- w = width of plate included in moment of inertia calculation of reinforced section, in.
- \bar{y} = distance from geometric center of end plate to centroid of cross-sectional area of a rectangular vessel, in. If both long-side plates are of equal thickness t_2 , then $\bar{y} = 0$.
- α = rectangular vessel parameter = H/h
- α_1 = rectangular vessel reinforcement parameter
 $= H_1/h_1$
- $\alpha_2 = I_2/I_1$
- $\alpha_3 = L_2/L_1$
- $\gamma = L_2/R$
- $\gamma_1 = L_2/r$
- θ = angle
- $\phi = R/L_1$
- Δ = material parameter associated with w , Table 13-8(e), $\text{psi}^{1/2}$
- $\beta = h/p, H/p, \text{ or } 2R/p$
- $\pi = 3.1415 \text{ rad}$
- ν = Poisson's ratio

13-6 LIGAMENT EFFICIENCY OF MULTIDIAMETER HOLES IN PLATES

In calculations made according to this Appendix for the case of a plate with uniform diameter holes, the ligament efficiency factors e_m and e_b for membrane

and bending stresses, respectively, are considered to be the same. See 13-4(g) and 13-18(b) for application of ligament efficiency factors. In the case of multidiameter holes, the neutral axis of the ligament may no longer be at midthickness of the plate; in this case, for bending loads, the stress is higher at one of the plate surfaces than at the other surface.

(a) *Ligament Efficiency of Plate With Multidiameter Holes Subject to Membrane Stress.* Figure 13-6 shows a plate with multidiameter holes. In the case of membrane stresses, the ligament efficiency is as follows:

$$e_m = (p - D_E)/p$$

where

$$D_E = \frac{1}{t} (d_n T_n + d_1 T_1 + d_2 T_2 + \dots + d_n T_n)$$

(b) *Ligament Efficiency of Plate With Multidiameter Holes Subject to Bending Stress.* Figure 13-6 shows a plate with multidiameter holes. In the case of bending loads the ligament efficiency is given by

$$e_b = (p - D_E)/p$$

where

$$D_E = p - 6I/r^2 c$$

$$I = \frac{1}{12} (b_n T_n^3 + b_1 T_1^3 + b_2 T_2^3 + \dots + b_n T_n^3) + b_n T_n \left(\frac{T_n}{2} + T_1 + T_2 + \dots + T_n - \bar{X} \right)^2 + b_1 T_1 \left(\frac{T_1}{2} + T_2 + \dots + T_n - \bar{X} \right)^2 + b_2 T_2 \left(\frac{T_2}{2} + \dots + T_n - \bar{X} \right)^2 + b_n T_n \left(\bar{X} - \frac{T_n}{2} \right)^2$$

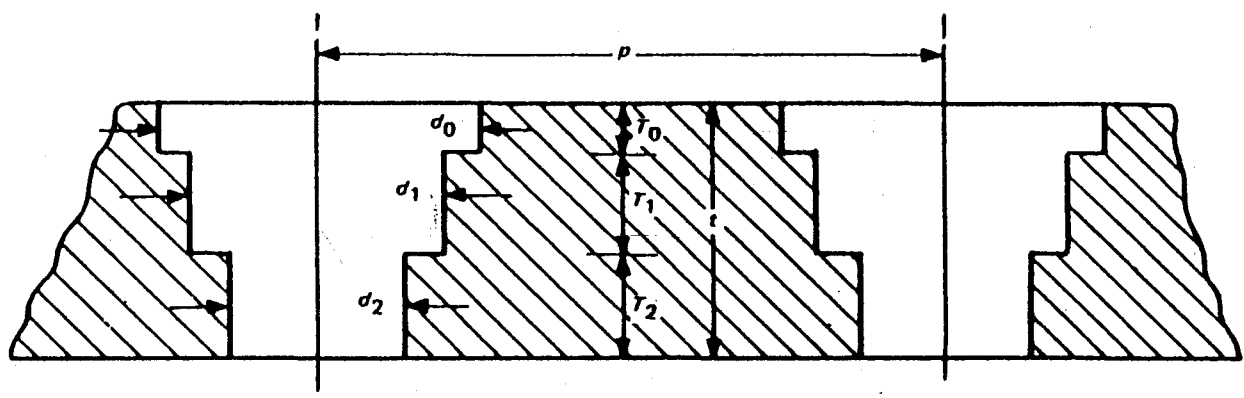


FIG. 13-6 PLATE WITH MULTIDIAMETER HOLE PATTERN

$$\bar{X} = \left[b_n T_n \left(\frac{T_n}{2} + T_1 + T_2 + \dots + T_n \right) \right. \quad (S_b)_Q = \frac{Ph^2 c}{12I_1} \left(\frac{1 + \alpha^2 K}{1 + K} \right) \quad (4)$$

$$+ b_1 T_1 \left(\frac{T_1}{2} + T_2 + \dots + T_n \right) \quad \text{Long-Side Plates}$$

$$+ b_2 T_2 \left(\frac{T_2}{2} + \dots + T_n \right) + B_n T_n \left(\frac{T_n}{2} \right) \quad (S_b)_M = \frac{Ph^2 c}{12I_2} \left[-1.5 + \frac{(1 + \alpha^2 K)}{1 + K} \right] \quad (5)$$

$$\times (b_n T_n + b_1 T_1 + b_2 T_2 + \dots + b_n T_n)^{-1} \quad (6) \quad (S_b)_Q = \frac{Ph^2 c}{12I_2} \left(\frac{1 + \alpha^2 K}{1 + K} \right) \quad (6)$$

$c = \text{the larger of } \bar{X} \text{ or } (t - \bar{X})$

(3) Total Stress

Short-Side Plates

$$(S_T)_N = \text{Eq. (1)} + \text{Eq. (3)} \quad (7)$$

$$(S_T)_Q = \text{Eq. (1)} + \text{Eq. (4)} \quad (8)$$

Long-Side Plates

$$(S_T)_M = \text{Eq. (2)} + \text{Eq. (5)} \quad (9)$$

$$(S_T)_Q = \text{Eq. (2)} + \text{Eq. (6)} \quad (10)$$

13-7 VESSELS OF RECTANGULAR CROSS SECTION

(a) Vessel per Fig. 13-2(a) Sketch (1)

(1) Membrane Stress

Short-Side Plates

$$S_m = Ph/2t_1 \quad (1)$$

Long-Side Plates

$$S_m = PH/2t_2 \quad (2)$$

(2) Bending Stress

Short-Side Plates

$$(S_b)_N = \frac{Pc}{12I_1} \left[-1.5H^2 + h^2 \frac{(1 + \alpha^2 K)}{1 + K} \right] \quad (3)$$

(4) An example illustrating use of these rules is given in 13-17(a).

(b) Vessel per Fig. 13-2(a) Sketch (2). In this type of vessel the maximum stress occurs either at the

corners of the vessel or at the midpoint of the long sides.

(1) Membrane Stress

Short-Side Plates

$$S_m = Ph / 2t_1 \quad (11)$$

Long-Side Plates

$$(S_m)_{12} = \frac{P}{8NH_{12}} \left[4NH^2 - 2h^2 \left[(K_2 + k_2) - k_1 (K_1 + k_2) + \alpha^2 k_2 (K_2 - K_1) \right] \right] \quad (12A)$$

$$(S_m)_{122} = \frac{P}{8NH_{122}} \left[4NH^2 - 2h^2 \left[-(K_2 + k_2) + k_1 (K_1 + k_2) - \alpha^2 k_2 (K_2 - K_1) \right] \right] \quad (12B)$$

(2) Bending Stress

Short-Side Plates

$$(S_b)_Q = \frac{Pch^2}{4NI_1} \times [(K_2 - k_1 k_2) + \alpha^2 k_2 (K_2 - k_2)] \quad (13)$$

$$(S_b)_{Q_1} = \frac{Pch^2}{4NI_1} \times [(K_1 k_1 - k_2) + \alpha^2 k_2 (K_1 - k_2)] \quad (14)$$

Long-Side Plates

$$(S_b)_M = \frac{Pch^2}{8NI_{22}} \left\{ 2 \left[(K_2 - k_1 k_2) + \alpha^2 k_2 (K_2 - k_2) \right] - N \right\} \quad (15)$$

$$(S_b)_{M_1} = \frac{Pch^2}{8NI_2} \left\{ 2 \left[(K_1 k_1 - k_2) + \alpha^2 k_2 (K_1 - k_2) \right] - N \right\} \quad (16)$$

$$(S_b)_Q = \frac{Pch^2}{4NI_{22}} \left[(K_2 - k_1 k_2) + \alpha^2 k_2 (K_2 - k_2) \right] \quad (17)$$

$$(S_b)_{Q_1} = \frac{Pch^2}{4NI_2} \left[(K_1 k_1 - k_2) + \alpha^2 k_2 (K_1 - k_2) \right] \quad (18)$$

(3) Total Stress

Short-Side Plates

$$(S_T)_Q = \text{Eq. (11)} + \text{Eq. (13)} \quad (19)$$

$$(S_T)_{Q_1} = \text{Eq. (11)} + \text{Eq. (14)} \quad (20)$$

Long-Side Plates

$$(S_T)_M = \text{Eq. (12B)} + \text{Eq. (15)} \quad (21)$$

$$(S_T)_{M_1} = \text{Eq. (12A)} + \text{Eq. (16)} \quad (22)$$

$$(S_T)_Q = \text{Eq. (12B)} + \text{Eq. (17)} \quad (23)$$

$$(S_T)_{Q_1} = \text{Eq. (12A)} + \text{Eq. (18)} \quad (24)$$

(4) An example illustrating use of these rules is given in 13-17(b).

(c) Vessel per Fig. 13-2(a) Sketch (3)

(1) Membrane Stress

Short-Side Plates

$$(S_m)_C = (S_m)_D = \frac{P(R + L_2)}{t_1} \quad (25)$$

Long-Side Plates

$$(S_m)_A = (S_m)_B = \frac{P(L_1 + R)}{t_1} \quad (26)$$

Corner Sections

$$(S_m)_{B-C} = \frac{P}{I_1} \left(\sqrt{L_2^2 + L_1^2} + R \right) \quad (27)$$

(2) Bending Stress

Short-Side Plates

$$(S_b)_C = \frac{c}{2I_1} \times [2M_A + P(2RL_2 - 2RL_1 + L_2^2)] \quad (28)$$

$$(S_b)_D = \frac{c}{2I_1} [2M_A + P(L_2^2 + 2RL_2 - 2RL_1 - L_1^2)] \quad (29)$$

Long-Side Plates

$$(S_b)_A = \frac{M_A c}{I_1} \quad (30)$$

$$(S_b)_B = \frac{c}{2I_1} (2M_A + PL_2^2) \quad (31)$$

Corner Sections

$$(S_b)_{B-C} = \frac{M_r c}{I_1} = \frac{c}{2I_1} (2M_A + P[2R(L_2 \cos \theta - L_1(1 - \sin \theta) - L_1(1 - \sin \theta)) + L_2^2]) \quad (32)$$

where $(S_b)_{B-C}$ maximum at

$$\theta = \tan^{-1} (L_1 / L_2)$$

(3) Total Stress

Short-Side Plates

$$(S_T)_C = \text{Eq. (25)} + \text{Eq. (28)} \quad (33)$$

$$(S_T)_D = \text{Eq. (25)} + \text{Eq. (29)} \quad (34)$$

Long-Side Plates

$$(S_T)_A = \text{Eq. (26)} + \text{Eq. (30)} \quad (35)$$

$$(S_T)_B = \text{Eq. (26)} + \text{Eq. (31)} \quad (36)$$

Corner Sections

$$(S_T)_{B-C} = \text{Eq. (27)} + \text{Eq. (32)} \quad (37)$$

where

$$M_A = PK_3 \quad (38)$$

$$M_r = M_A + P[R(L_2 \cos \theta - L_1(1 - \sin \theta)) + L_2^2 / 2] \quad (39)$$

$$K_3 = -L_1^2(6\phi^2\alpha_3 - 3\pi\phi^2 + 6\phi^2 + \alpha_3^3) + 3\alpha_3^2 - 6\phi - 2 + 1.5\pi\phi\tau_3^2 + 6\phi\alpha_3 \times [3(2\alpha_3 + \pi\phi + 2)]^{-1} \quad (40)$$

(4) An example illustrating use of these rules is given in 13-17(c).

13-8

REINFORCED VESSELS OF RECTANGULAR CROSS SECTION

(a) In the type of construction shown on Fig. 13-2(a) sketches (4), (5) and (6), the analyses are similar to those in 13-7(a) and (c) but in addition the spacing of the reinforcing members and the adequacy of the composite reinforced section must be determined. See 13-4(c) for the procedure for determining total stresses which must not be more than the allowable design stress calculated according to the methods given in 13-4(b).

(b) The rules of this paragraph cover only the types of reinforced rectangular cross section vessels shown in Fig. 13-2(a) sketches (4), (5) and (6) where welded-on reinforcement members are in a plane perpendicular to the long axis of the vessel; however, the spacing between reinforcing members need not be uniform. All reinforcement members attached to two opposite plates

TABLE 13-8(d)

| β or $1/\beta$ (Whichever Is Larger) | Stress Parameter J |
|---|-------------------------|
| 1.0 | 4.9 |
| 1.1 | 4.3 |
| 1.2 | 3.9 |
| 1.3 | 3.6 |
| 1.4 | 3.3 |
| 1.5 | 3.1 |
| 1.6 | 2.9 |
| 1.7 | 2.8 |
| 1.8 | 2.6 |
| 1.9 | 2.5 |
| 2.0 | 2.4 |
| 3.0 | 2.1 |
| ≥ 4.0 | 2.0 |

shall have the same moment of inertia. For any other type of reinforced rectangular cross section vessel, see U-2.

For the vessel type shown on Fig. 13-2(a) sketch (4) when the side plate thicknesses are equal, the plates may be formed to a radius at the corners. The analysis is, however, carried out in the same manner as if the corners were not rounded. For corners which are cold formed, the provisions of UG-79 and UCS-79 or UHT-79 shall apply. For the special case where $L_1 = 0$, the analysis is for an obround shell with continuous external rectangular frame reinforcement; see 13-11(b).

Reinforcing members shall be placed on the outside of the vessel and shall be attached to the plates of the vessel by welding on each side of the reinforcing member. For continuous reinforcement, welding may be either continuous or intermittent. The total length of intermittent welding on each side of the reinforcing member shall be not less than one-half the length being reinforced on the shell. Welds on opposite sides of the reinforcing member may be either staggered or in-line and the distance between intermittent welds shall be no more than eight times the plate thickness of the plate being reinforced as shown in Fig. UG-30. For assuring the composite section properties, for noncontinuous reinforcements, the welds must be capable of developing the necessary shear.⁴

(c) The end closures for vessels of this type shall be designed in accordance with the provisions in 13-4(f).

⁴ See Manual of Steel Construction, AISC, American Institute of Steel Construction, Inc., 400 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611.

TABLE 13-8(e)

| Material | Effective Width Coefficient Δ , (Note (1)) $\sqrt{\text{psi}}$ |
|----------------------------|---|
| Carbon Steel | 6000 |
| Austenitic Stainless Steel | 5840 |
| Ni-Cr-Fe | 6180 |
| Ni-Fe-Cr | 6030 |
| Aluminum | 3560 |
| Nickel Copper | 5720 |
| Unalloyed Titanium | 4490 |

NOTE:

(1) These coefficients are based on moduli of elasticity at ambient temperature for the materials in Table NF-1 of Subpart 2 of Section II, Part D. For different modulus values calculate Δ as follows:

$$\Delta = (\Delta)_{\text{tabulated}} \sqrt{E_1/E_2}$$

(d) *Distance Between Reinforcing Members.* The basic maximum distance between reinforcing member center lines shall be determined by Eq. (1) of UG-47. This distance is then used to calculate a value of β for the short side H and for the long side h . A value J is then obtained for each value from Table 13-8(d). The values thus obtained are used in the applicable Eqs. (1a) through (1d) to determine the values of p_1 and p_2 . The maximum distance between any reinforcing member center lines shall not be greater than the least of the values computed using Eqs. (1a) through (1d).

Equation (2) is used to compute the maximum effective width of the shell plate which can be used in computing the effective moments of inertia I_{11} and I_{21} of the composite section (reinforcement and shell plate acting together) at locations where the shell plate is in compression.

The allowable effective width of the shell plate w shall not be greater than the least value of p computed using the applicable Eqs. (1a) through (1d) nor greater than the actual value of p if the actual value of p is less than that permitted by Eqs. (1a) through (1d). One-half of w shall be considered to be effective on each side of the reinforcing member center line, but the effective widths shall not overlap. The effective width shall not be greater than the actual width available. At locations where the shell plate is in tension, w equal to the actual pitch distance may be used in computing the moments of inertia of the composite section.

In the equations for calculating stresses, the value of p is the sum of one-half the distances to the next reinforcing member on each side.

$$\text{For } H \geq p, p_1 = t_1 \sqrt{SJ/P} \quad (1a)$$

$$\text{For } H < p, p_1 = (t_1 / \beta) \sqrt{SJ/P} \quad (1b)$$

$$\text{For } h \geq p, p_2 = t_2 \sqrt{SJ/P} \quad (1c)$$

$$\text{For } h < p, p_2 = (t_2 / \beta) \sqrt{SJ/P} \quad (1d)$$

$$w = \frac{(v) (\Delta)}{\sqrt{S_y}} \quad (2)$$

(e) Vessel per Fig. 13-2(a) Sketch (4)

(1) Membrane Stress

Short-Side Members

$$S_m = \frac{Php}{2(\Lambda_1 + pt_1)} \quad (3)$$

Long-Side Members

$$S_m = \frac{PHp}{2(\Lambda_2 + pt_2)} \quad (4)$$

(2) Bending Stress

Short-Side Members

$$(S_b)_N = \frac{Ppc}{24I_{11}} \times \left[-3t_1^2 + 2h^2 \left(\frac{1 + \alpha_1^2 k}{1 + k} \right) \right] \quad (5)$$

$$(S_b)_Q = \frac{Ph^2 pc}{12I_{11}} \left(\frac{1 + \alpha_1^2 k}{1 + k} \right) \quad (6)$$

Long-Side Members

$$(S_b)_M = \frac{Ph^2 pc}{24I_{21}} \left[-3 + 2 \left(\frac{1 + \alpha_1^2 k}{1 + k} \right) \right] \quad (7)$$

$$(S_b)_Q = \frac{Ph^2 pc}{12I_{21}} \left(\frac{1 + \alpha_1^2 k}{1 + k} \right) \quad (8)$$

(3) Total Stress
Short-Side Members

$$(S_T)_N = \text{Eq. (3)} + \text{Eq. (5)} \quad (9)$$

$$(S_T)_Q = \text{Eq. (3)} + \text{Eq. (6)} \quad (10)$$

Long-Side Members

$$(S_T)_M = \text{Eq. (4)} + \text{Eq. (7)} \quad (11)$$

$$(S_T)_Q = \text{Eq. (4)} + \text{Eq. (8)} \quad (12)$$

An example illustrating use of these rules is given in 13-17(d).

(f) Vessel per Fig. 13-2(a) Sketch (5)

(1) Membrane Stress. For this type of construction where the reinforcement is not continuous the membrane stress is based on the plate thickness only:

Short-Side Plates

$$S_m = \frac{P(L_2 + L_{21} + R)}{t_1} \quad (21)$$

Long-Side Plates

$$S_m = \frac{P(L_1 + L_{11} + R)}{t_2} \quad (22)$$

Corner Sections

$$S_m = \frac{P}{t_1} \left[\sqrt{(L_2 + L_{21})^2 + (L_1 + L_{11})^2} + R \right] \quad (23)$$

(2) Bending Stress
Short-Side Members

$$(S_b)_F = \frac{c}{I_1} \left\{ M_A + pP \left[\frac{(L_2 + L_{21})^2}{2} + R(L_2 + L_{21} - L_1 - L_{11}) \right] \right\} \quad (24)$$

TABLE 13-13(c)

| Ratio of Long to Short Side of Plate Element | Plate Parameter J_1 |
|--|-----------------------|
| 1.0 | 0.0513 |
| 1.1 | 0.0581 |
| 1.2 | 0.0639 |
| 1.3 | 0.0694 |
| 1.4 | 0.0755 |
| 1.5 | 0.0812 |
| 1.6 | 0.0862 |
| 1.7 | 0.0908 |
| 1.8 | 0.0948 |
| 1.9 | 0.0985 |
| 2.0 | 0.1017 ¹⁾ |
| 3.0 | 0.1189 |
| 4.0 | 0.1235 |
| ≥ 5.0 | 0.1246 |

For $L_1 > 2R$,

$$S_b = \frac{J_1 c}{I_3} [(P_1 - P_2) (4R^2)] \quad (10)$$

where J_1 is given in Table 13-13(c).

(3) Total Stress

Shell Section

$$S_T = \text{Eq. (6)} + \text{Eq. (8)} \quad (11)$$

Diametral Plate

$$S_T = \text{Eq. (7)} + \text{Eq. (9)} \text{ or } (10) \quad (12)$$

(4) An example illustrating use of these rules is given in 13-17(i).

13-14 VESSELS OF NONCIRCULAR CROSS SECTION SUBJECT TO EXTERNAL PRESSURE

Rectangular cross section vessels per Fig. 13-2(a) sketches (1) and (2) subject to external pressure shall meet the following requirements.

13-14(a) The stresses shall be calculated in accordance with 13-7(a) and (b) except that P_e shall be substituted for P . These stresses shall meet the allowable

stress criteria as for the case of internal pressure in accordance with 13-4.

13-14(b) The four side plates and the two end plates shall be checked for stability in accordance with Eq. (1). In the following equations, the plate thickness t and the modulus of elasticity E_t must be adjusted if the plate is perforated. In equations for S_{mA} and S_{mB} , multiply t by e_m ; in equations for S_{crA} and S_{crB} , no adjustment of t shall be made.

A = subscript to identify stress or load acting in direction parallel to long dimension of panel being considered

B = subscript to identify stress or load acting in direction parallel to short dimension of panel being considered

S_{mA} = compression stress applied to short edge of side panels due to external pressure on the end plates [see Fig. 13-14(b)]

S_{mB} = compression stress applied to long edge of side panels and end panels due to external pressure on the adjacent side plates [see Fig. 13-14(b)]

$K_A; K_B$ = plate buckling coefficients, obtained from Fig. 13-14(a), as used in equations for calculating S_{crA} and S_{crB} , respectively

$S_{crA}; S_{crB}$ = plate buckling stress when panel is subjected to stresses on two opposite edges in directions indicated by subscripts A and B [see Fig. 13-14(b)]

$$\frac{2S_{mA}}{S_{crA}} + \frac{2S_{mB}}{S_{crB}} \leq 1.0 \quad (1)$$

where

$$S_{crA} = S'_{crA} \text{ when } S'_{crA} \leq S_y/2$$

$$= S''_{crA} \text{ when } S'_{crA} > S_y/2$$

$$S_{crB} = S'_{crB} \text{ when } S'_{crB} \leq S_y/2$$

$$= S''_{crB} \text{ when } S'_{crB} > S_y/2$$

Short-Side Plates

$$S_{mA} = \frac{P_e h l l}{2(t_1 l l + t_2 h)} \quad (2)^5$$

$$S_{mB} = P_e h / 2t_1 \quad (3)$$

⁵ These equations apply to vessels in which the long-side plates are of equal thickness. If thicknesses are not equal, replace $2t_1$ with $(t_1 + t_2)$.

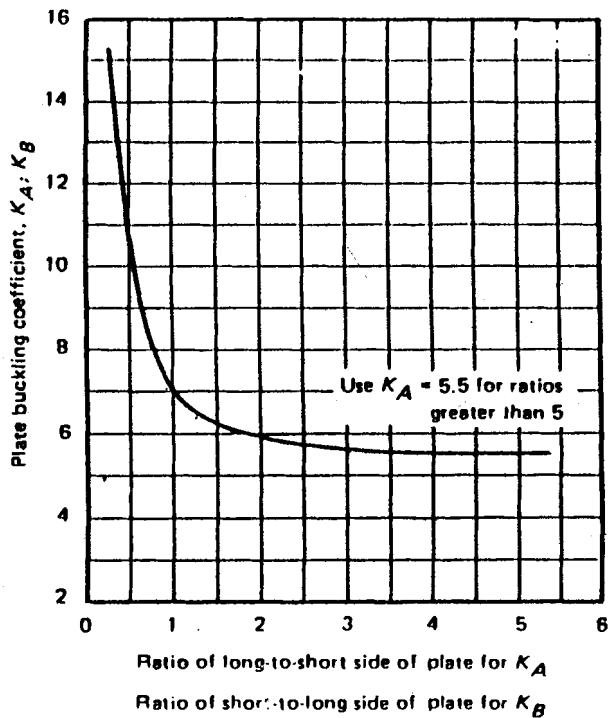


FIG. 13-14(a)

GENERAL NOTE: When ratio is less than 0.258, use $K_n = 1.0$ and $L_n =$ (short side dimension, H or h) in equations for calculating S'_{crB} .

$$S'_{crA} = \frac{\pi^2 E_2 t}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_1}{H}\right)^2 K_A \quad (4A)$$

$$S''_{crA} = S_y - S_y^2 / 4S'_{crA} \quad (4B)$$

$$S'_{crB} = \frac{\pi^2 E_2}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_1}{L_v}\right)^2 K_B \quad (5A)$$

$$S''_{crB} = S_y - \frac{S_y^2}{4S'_{crB}} \quad (5B)$$

Long-Side Plates

$$S_{mA} = \frac{P_c h H}{2(t_1 H + t_2 h)} \quad (6)^5$$

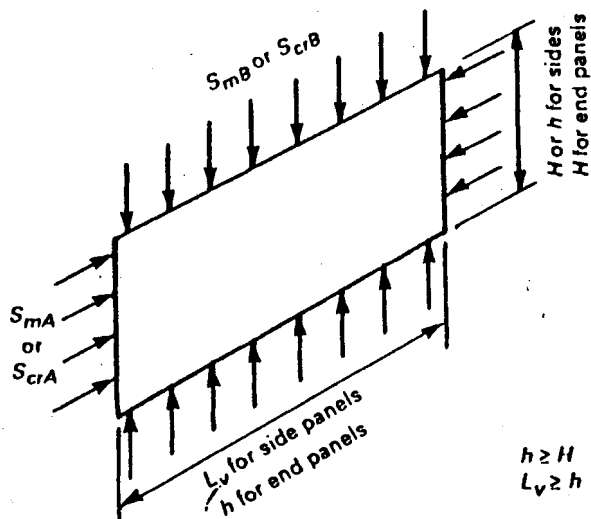


FIG. 13-14(b) ORIENTATION OF PANEL DIMENSIONS AND STRESSES

$$S_{mB} = \frac{P_c H}{2t_2} \quad (7)^6$$

$$S'_{crA} = \frac{\pi^2 E_2}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_2}{h}\right)^2 K_A \quad (8A)$$

$$S''_{crA} = S_y - \frac{S_y^2}{4S'_{crA}} \quad (8B)$$

$$S'_{crB} = \frac{\pi^2 E_2}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_2}{L_v}\right)^2 K_B \quad (9A)$$

$$S''_{crB} = S_y - \frac{S_y^2}{4S'_{crB}} \quad (9B)$$

End Plates

$$S_{mA} = \frac{P_c H L_v}{2(t_2 L_v + t_1 H)} \quad (10)^5$$

⁶ These equations apply to vessels in which the long-side plates are of equal thickness. If thicknesses are unequal, then use Eqs. (12A) and (12B) of 13-7(b)(1).

$$S_{mb} = \frac{P_e h L_v}{2(t_1 L_v + t_2 h)} \quad (11)$$

$$S'_{crA} = \frac{\pi^2 E_2}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_2}{H} \right)^2 K_A \quad (12A)$$

$$S''_{crA} = S_y - \frac{S_y^2}{4S'_{crA}} \quad (12B)$$

$$S'_{crB} = \frac{\pi^2 E_2}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_2}{h} \right)^2 K_B \quad (13A)$$

$$S''_{crB} = S_y - \frac{S_y^2}{4S'_{crB}} \quad (13B)$$

13-14(c) In addition to checking each of the four side plates and the two end plates for stability in accordance with Eq. (1) above, the cross section shall be checked for column stability in accordance with Eq. (14) as follows:

$$\frac{S_a}{F_a} + \frac{S_b}{(1 - S_a/F'_e)S} \leq 1.0 \quad (14)$$

where

$$S_a = \frac{P_e h_a H_a}{2(t_1 H_a + t_2 h_a)} \quad (15)^5$$

when

$$2L_v/R_1 \leq C_c$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(2L_v/R_1)^2}{2C_c^2} \right] S_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(2L_v/R_1)}{8C_c} - \frac{(2L_v/R_1)^3}{8C_c^3}} \quad (16A)$$

when

$$2L_v/R_1 > C_c$$

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E_2}{23(2L_v/R_1)^2} \quad (16B)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E_2}{S_y}} \quad (17)$$

$$S_b = \frac{M c_1}{I_e} \quad (18)$$

$$M = P_e h_a H_a \bar{y} \quad (19)$$

$$F'_e = \frac{12 \pi^2 E_2}{23(2L_v/R_1)^2} \quad (20)$$

13-15 FABRICATION

(a) Fabrication of vessels shall be in accordance with applicable parts of Subsection A and Subsection B, Part UW, except as otherwise provided for in this Appendix. Category A joints (see UW-3) may be of Type No. (3) of Table UW-12 when the thickness does not exceed $\frac{3}{8}$ in.

(b) This Appendix covers fabrication of vessels by welding. Other methods of fabrication are permissible provided the requirements of applicable parts of this Section are met.

13-16 INSPECTION

Inspection and testing shall be carried out as stated in Subsection A.

13-17 EXAMPLES

Examples illustrating use of the rules of this Appendix are as follows:

13-17(a) *Rules of 13-7(a)*. A vessel of rectangular cross section [Fig. 13-2(a) sketch (1)] consists of plain short-side and end plates, a long-side plate with uniform 1.5 in. diameter holes on a 3.75 in. pitch, and a long-side plate with multidiameter holes on a 3.75 in. pitch. The internal design pressure is 115 psi at a design temperature of 650°F. Material is SA-515 Grade 70 steel. There is no corrosion allowance and the vessel is spot radiographed; $E = 0.8$. The following additional data are given.

Short-Side Plate Thickness. (Butt welded at Location N)

$$t_1 = 0.625 \text{ in.}$$