

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de una compuerta Hidráulica Tipo Segmento para
un nivel máximo de aguas arriba de 2 m y un nivel
máximo de aguas abajo de 2,30 m.”

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Edison Vladimir Dávila Jaramillo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Ernesto Martínez director de tesis por su invalorable ayuda y colaboración para la culminación de este trabajo.

A todas las personas que de una u otra forma han Contribuido en la realización de este trabajo.

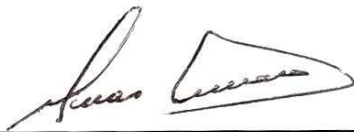
DEDICATORIA

A mi padre: Ángel Custodio Dávila Romero le dedico este trabajo como una pequeña retribución a su invaluable apoyo y ayuda que han hecho de mí un hombre de bien.

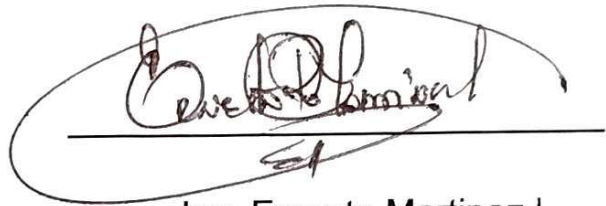
A mi madre: Sra. Maria Flor Jaramillo Loayza por su abnegada labor, que sin ella no hubiera podido culminar mi carrera.

A mis hermanas y a mis cuñados que se encuentran en el extranjero, a mi hermano Jimmy gracias por su apoyo desinteresado para la culminación de mi carrera.

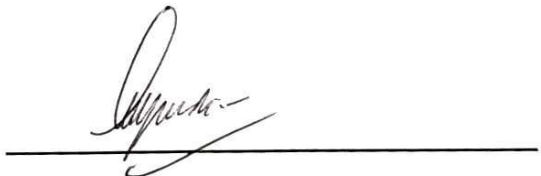
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Omar Serrano.
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martinez L.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Duque Rivera.
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).



Edison Vladimir Dávila Jaramillo



RESUMEN

La Represa Nuevo Simbocal está ubicada en la desembocadura del Río Chone, en la Provincia de Manabí.

El estuario del Río Chone tiene una larga trayectoria de problemas en su calidad de agua debido a la combinación de influencias climáticas estacionales y manejo de los recursos naturales. El estuario es afectado principalmente por sedimentos debidos a la erosión de las lomas y al desarrollo de piscinas para camarónicas que trae consigo cambios climáticos estacionales combinados con un decrecimiento en el flujo de aguas dulces y descarga de las aguas de mar al estuario. Esta descarga de agua de mar al estuario trae como resultado una variación en la salinidad del agua la cual afecta a la vegetación, a los organismos que habitan en ella, algunos de los cuales se adaptan, por tener unas tolerancias amplias a la salinidad y temperatura, mientras que otros no pueden subsistir en este medio y mueren.

El presente proyecto consiste en diseñar una compuerta que permita represar el agua del río Chone en épocas donde disminuya su caudal con el fin de mantener un nivel controlado, además de impedir que el agua de

mar se mezcle con la del río para evitar cambios en la salinidad y que esta compuerta se habrá cuando exista exceso de agua dulce para evitar inundaciones en los campos.

Para el diseño de forma de la compuerta se tomara en cuenta las mediadas geométricas de la represa para evitar inconvenientes en el momento de su colocación en sitio.

La Metodología que se seguirá en esta tesis consistirá en buscar manuales, catálogos, normas que nos ayuden al diseño de la misma a si como apuntes teóricos obtenidos en clases, libros de diseño, de fluido, observaciones de otras compuertas anteriormente diseñadas.

Como resultado se obtendrán los planos de fabricación de cada uno de los elementos de la compuerta para su futura fabricación, los planos de diseño, lista de materiales, análisis de costo, la memoria técnica de los cálculos realizados.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.1. Objetivo del Proyecto.....	2
1.2. Especificaciones de Cálculo.....	3
1.3. Referencias Normativas.....	4
1.4. Descripción General de las Compuertas.....	5
1.5. Selección del tipo de compuerta a diseñar.....	16
1.6. Diseño de forma de la compuerta.....	17

CAPITULO 2

2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA COMPUERTA.....	19
2.1. Análisis de fuerzas actuando en la compuerta.....	19
2.1.1. Análisis de Fuerzas en la Compuerta en el estado de Equilibrio. "Caso1".....	20
2.1.2. Análisis de Fuerzas en la Compuerta en el Estado de Equilibrio. "Caso2".....	27
2.1.3. Fuerza Ejercida por el Gato Hidráulico "Compuerta Cerrada".....	31
2.1.4. Fuerza Ejercida por el Gato Hidráulico "Compuerta Abierta".....	39
2.1.5. Comprobación de la Fuerza de Empuje.....	43
2.2. Determinación del espesor de placa de Compuerta.....	45
2.2.1. Cálculo de flexión de la placa.....	51
2.2.2. Cálculo de la longitud útil de la plancha de Compuerta.....	52
2.2.3. Cálculo de la deflexión por el Método FEM.....	58
2.3. Vigas Horizontales en la Compuerta Segmento.....	61
2.3.1. Cantidad de Vigas Horizontales en la Compuerta.....	61
2.3.2. Espesores de Almas en Vigas Horizontales.....	63

2.3.3.	Esfuerzos de Corte en Almas de Perfiles de Compuerta.....	64
2.3.4.	Flexión en las Vigas Horizontales.....	67
2.4	Vigas Verticales y Brazos de la Compuerta Segmento.....	70
2.4.1.	Análisis de Vigas Verticales.....	70
2.4.2.	Fuerzas axiales en brazos de Compuertas.....	73

CAPÍTULO 3

3.	DISEÑO DE ELEMENTOS ARTICULADOS DE LA COMPUERTA.....	81
3.1.	Carga transmitida al Muñón de Compuerta.....	82
3.2.	Eje del Muñón de Compuerta.....	84
3.3.	Ojal del Muñón.....	90
3.4.	Bocines para Muñones de Compuerta.....	93

CAPÍTULO 4

4.	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE SUJECIÓN DE LA COMPUERTA.....	96
4.1.	Estimación Geométrica de las guías de compuertas.....	97
4.2.	Cálculo de pernos de sujeción de la pantalla.....	100
4.3.	Uniones soldadas.....	106

4.4. Tratamiento de superficies y pintado.....	109
--	-----

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	116
----------------------------	-----

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

Q	Caudal.
ρ	Densidad.
γ	Peso específico
kg	Kilogramo.
g	Gravedad.
KN	Kilo Newton.
N	Newton.
Pa.	Pascal.
Rad.	Radianes.
MPa	Mega pascal.
m	Metro
cm	Centímetro.
mm	Milímetros.
m^2	Metros cuadrados.
m^3	Metros cúbicos.
psi	Libras por pulgadas cuadradas.
δ	Es el % de elongación del material
E	es el modulo de elasticidad
I	Inercia

SIMBOLOGÍA

C	Centro de gravedad de la compuerta Segmento.
P_{ERX}	Fuerza ejercida por el Río
R_B	Reacción en el punto B (viga umbral)
P_{max}	Fuerza ejercida por el río a la profundidad máxima
W_c	Peso de Compuerta
E_a	Empuje ejercido por el agua en el centroide del agua
W_p	Peso de pasamanos y pasarelas
T_R	Fuerza Resultante en el punto T (muñones de compuerta)
D_i	Distancia desde el centro de presión hasta ($i=a, c, p, b, y$)
h	Altura de compuerta ($h=H$ condición de reboce)
V	Volumen
Φ	Ángulo de aplicación del gato hidráulico para abrir la compuerta
R	Radio de giro de la compuerta
A	Fuerza de izado para el gato hidráulico
F_s	Fuerza de Rozamiento producida por los sellos
X_a	Distancia horizontal desde el muñón hacia el punto A.
Y_a	Distancia vertical desde el muñón hacia el punto A.
μ_s	Coefficiente de rozamiento estático Acero-elastómero
ℓ	Longitud de arco total de compuerta
ℓ_1	Longitud del sello desde el nivel del mar hasta el nivel del río
ℓ_2	Longitud del sello del fondo hasta el nivel del agua de mar
S	Fuerza por unidad de longitud debida al sello lateral
d	Longitud libre y útil del sello
W	Fuerza de empuje del libro de Ferreira.
W_h	Fuerza ejercida por el río en la dirección horizontal
W_v	Fuerza de empuje vertical sobre la compuerta
B	Ancho de la compuerta
H	Altura referida a la solera
D_m	Diferencia de cotas entre N.A. y el muñón de compuerta.
D_i	Diferencia de cotas entre el muñón de compuerta y la solera
D_s	Diferencia de cotas entre el muñón y el nivel de agua N.A.
σ	Esfuerzo de flexión debido a la presión hidrostática pura.
K	Coefficiente en función de las condiciones de apoyo
a	Menor dimensión de placa

b	Mayor dimensión de la placa
t	Espesor de la plancha a utilizar para la pantalla.
P	Presión hidrostática pura en el centro de la placa.
σ_{adm}	Esfuerzo admisible
η	Factor de seguridad
α	Coeficiente de Timoshenko
t	Espesor de la plancha utilizada
L_u	Longitud útil de placa de compuerta
γ	Coeficiente de reducción
N_0	Número de vigas mínima de la compuerta
T_{adm}	Esfuerzo admisible de corte
τ	Esfuerzo cortante calculado
T_a	Espesor del alma del perfil
t_m	Espesor medio del ala del perfil
q	Carga longitudinal
ω	Coeficiente de Pandeo para el acero ASTM A36
F	Fuerza de compresión
F_n	Fuerza normal
F_r	Fuerza radial
ω_c	Módulo resistente de compresión
M	Momento flector dado por la siguiente figura.
λ	Índice de esbeltez
S_e	Límite de Resistencia a la fatiga corregida
K_a	Factor de Superficie
K_b	Factor de tamaño
K_c	Factor de Carga
K_d	Factor de temperatura
σ_a	Esfuerzo alternante
σ_m	Esfuerzo medio
P_d	Presión diametral
F_i	Precarga para pernos para condiciones estáticas o de fatiga.
F_p	Carga límite
A_t	Área de esfuerzo de tensión
S_p	Resistencia límite del perno según en grado

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 0	Ubicación de la represa.....3
Figura 1.1	Represa.....4
Figura 1.2	Compuerta Tipo Anillo.....6
Figura 1.3	Compuerta Tipo Basculante.....7
Figura 1.4	Compuerta Tipo Cilindro.....8
Figura 1.5	Compuerta Tipo Esclusa.....9
Figura 1.6	Compuerta Tipo Lagarto.....10
Figura 1.7	Compuerta Tipo Rodante.....11
Figura 1.8	Compuerta Tipo Sector.....12
Figura 1.9	Compuerta Tipo Segmento.....13
Figura 1.10	Compuerta Tipo Tambor.....14
Figura 1.11	Compuerta Stop Log.....15
Figura 1.12	Diseño de Forma de la compuerta.....18
Figura 2.1	Diagrama de cuerpo libre “Caso 1”.....21
Figura 2.2	Volumen de agua desalojado por el río.....25
Figura 2.3	Diagrama de cuerpo libre “Caso 2”.....27
Figura 2.4	Volumen de agua salada contenido en la compuerta.....29
Figura 2.5	Diagrama de cuerpo libre Compuerta Cerrada.....31
Figura 2.6	Fuerzas de fricción en la compuerta.....35
Figura 2.7	Presión ejercida en el sello tipo J.....36
Figura 2.8	Diagrama de cuerpo libre Compuerta Abierta.....39
Figura 2.9	Esfuerzos actuando en la placa.....47
Figura 2.10	Presión hidrostática en la compuerta.....48
Figura 2.11	Longitud útil de la placa.....52
Figura 2.12	Distribución de los perfiles verticales en la compuerta.....54
Figura 2.13	Distribución del momento flexor y del ancho de apoyo de la placa.....55
Figura 2.14	Coeficientes de reducción (NBR 8883).....56
Figura 2.15	Distribución del Momento flexor en la pantalla.....57
Figura 2.16	Propiedades del material.....58
Figura 2.17	Presión aplicada.....59
Figura 2.18	Comportamiento de la Placa de compuerta.....59
Figura 2.19	Comportamiento de la Placa de compuerta reforzada.....60
Figura 2.20	Vigas horizontales en la compuerta.....61

Figura 2.21	Momentos en Viga Horizontal.....	67
Figura 2.22	Vigas Verticales en la Compuerta.....	70
Figura 2.23	Fuerza aplicada a los perfiles TEE.....	72
Figura 2.24	Análisis de vigas verticales.....	72
Figura 2.25	Fuerzas actuando en los Brazos.....	74
Figura 2.26	Fuerzas axiales en los Brazos.....	74
Figura 2.27	Momentos en los Brazos.....	78
Figura 3.0	Fuerzas actuando en el muñón de la Compuerta.....	81
Figura 3.1	Muñón de la Compuerta.....	82
Figura 3.2	Eje del muñón de la Compuerta.....	84
Figura 3.3	Ojal del muñón de la Compuerta.....	90
Figura 3.4	Bocines del muñón de la Compuerta.....	93
Figura 4.0	Guía lateral de la compuerta.....	97
Figura 4.1	Viga Mensula.....	99
Figura 4.2	Pernos de sujeción.....	100
Figura 4.3	Detalle de la Unión Soldada.....	107

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1	Cargas verticales de Pasarelas y Pasamanos.....23
Tabla 2	Coeficiente de Rozamiento.....33
Tabla 3	Coeficientes k para el cálculo de esfuerzos en la placa.....47
Tabla 4	Coeficientes para cálculo de esfuerzos admisibles.....50
Tabla 5	Coeficiente α52
Tabla 6	Coeficiente para cálculo de esfuerzo admisible Estructural.....66
Tabla 7	Coeficiente ω_p77
Tabla 8	Diseño del eje de Muñón de Compuerta.....86
Tabla 9	Factores Parciales de seguridad.....87
Tabla 10	Coeficiente para cálculo de esfuerzos Admisibles para Elementos Mecánicos.....89
Tabla 11	Espesores de paredes de Bocines.....95
Tabla 12	Diámetro de pernos normalizados.....101
Tabla 13	Ensayos en uniones soldadas.....106
Tabla 14	Grado de preparación de la superficie.....110

ÍNDICE DE PLANOS.

Plano 1	Dimensión de la represa
Plano 2	Detalle de la viga umbral y guías laterales
Plano 3	Detalle del empotramiento de las guías
Plano 4	Represa con sus compuertas
Plano 5	Detalle de la sujeción de la compuerta
Plano 6	Detalle del movimiento de la compuerta
Plano 7	Detalle de los trunions y las ruedas en la compuerta
Plano 8	Elementos de compuerta
Plano 9	Detalle de los elementos de la compuerta
Plano 10	Elementos que conforman el trunion
Plano 11	Medidas de trunion
Plano 12	Elementos que forman la rueda
Plano 13	Medidas de piezas de soporte de la rueda
Plano 14	Represa con su compuerta

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo nos muestra la metodología de diseño de una Compuerta Tipo segmento (Radial) y de cada uno de sus elementos, la cual será utilizada para contrarrestar los problemas que se producen al mezclarse el agua del mar con el agua del río, ocasionando un impacto ecológico en la degradación de las especies que habitan en el río Chone, La metodología que se seguirá en esta tesis consiste en revisar modelos de compuertas ya existentes, normas empleadas en la fabricación de la misma, catálogos, libros de diseño y un software que nos ayude en un análisis de elementos finitos.

El sistema de accionamiento se lo realiza a través de equipos óleo hidráulico, el tipo de sello tanto lateral como inferior serán de Neopreno. dureza. 50-60 SHORE A.

El tipo de material a utilizar tanto para pantallas, refuerzos, guías laterales, brazos, viga umbral se los fabricara de acero Estructural (ASTM-A 36), en los lugares en donde el Neopreno realiza el sellado necesariamente se utilizara acero inoxidable.

CAPITULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

1.1. Objetivo del Proyecto.

Calcular y definir las características mecánicas de la compuerta tipo Segmento Radial destinada a permanecer cerrada para impedir que el agua del mar se mezcle con el agua del río cuando sube la marea y abrirse cuando crece el río causado por lluvias, para desalojar el agua al mar y evitar inundaciones. Con estos parámetros se definirá la geometría y selección del material a emplearse con sus convenientes factores de seguridad.

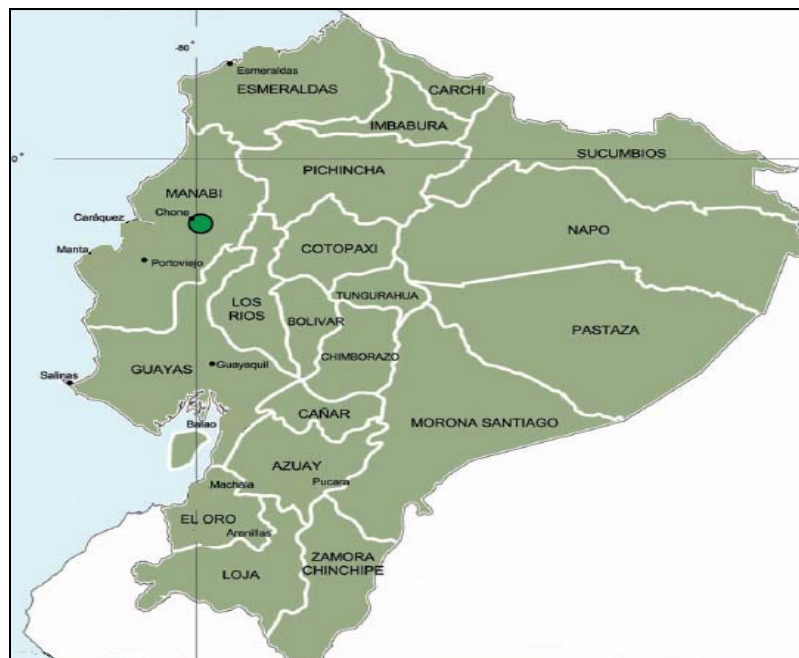


Figura 1.0 Ubicación de la represa.

1.2. Especificaciones de Cálculo.

La compuerta a elaborar se deberá proyectar para las condiciones de servicio especificado de cada caso.

Vano libre	4 m
Altura de la compuerta	3.5 m
Nivel de agua máximo de diseño	3.5 m
Nivel normal de aguas arriba	2 m
Nivel normal de aguas abajo	2,3 m

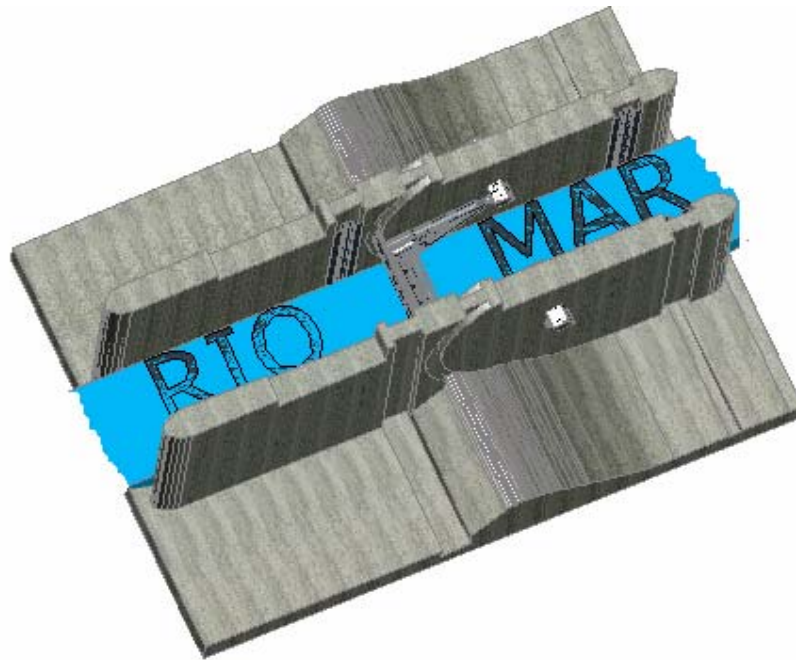


Figura 1.1 Represa.

1.3. Referencias Normativas.

Para el presente trabajo se utilizaran las siguientes normas y manuales de referencia.

La Norma NBR 8883:2002 fue formada por la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), El Comité Brasileño de maquinas e Equipos Mecánicos (CB-04), La Comisión de Estudio de Grandes Compuertas (CE-04:007.03), de la norma NBR 8833 (Calculo y Manufactura de Compuertas Hidráulicas) y tiene su origen en la

norma NBR 8883:1996. Esta norma sustituye a la misma elaborada en 1996 y cancela a la NBR12283:1991.

Esta norma fija los requisitos más necesarios para el diseño y fabricación de compuerta hidráulicas y todos sus componentes tales como: muñón, ojal, bocines, guías para la compuerta, etc.

El Manual del Ingeniero (EM 1110-2-2702) del departamento de ingenieros del ejercito de los Estados Unidos, fue elaborada el 11 de enero del 2000, el mismo que remplaza al EM 1110-2-2702 elaborado el 1 de agosto de 1966.

El propósito de este manual es proporcionar recomendaciones para el diseño, la fabricación y la inspección de compuertas hidráulicas a través de los criterios de la carga y del diseño del factor de resistencia (LRFD) para los componentes de acero de la compuerta.

1.4. Descripción General de las Compuertas.

Las compuertas son equipos mecánicos utilizados para: Control de flujos de aguas, Control de inundaciones, Proyectos de irrigación, Crear reservas de agua, Sistemas de drenaje, Proyectos de aprovechamiento de suelo, Plantas de tratamiento de agua,

Incrementar capacidad de reserva de las represas, etc. Existen diferentes tipos y pueden tener diferentes clasificaciones, según su forma, función y su movimiento.

Las diferentes formas o tipos de compuertas a utilizar dependerán principalmente del tamaño y forma del orificio en donde se ubican, de la presión hidrostática, del espacio disponible, del mecanismo de apertura y de las condiciones particulares de operación.

Entre los tipos de compuerta más utilizadas tenemos:

COMPUERTA TIPO ANILLO

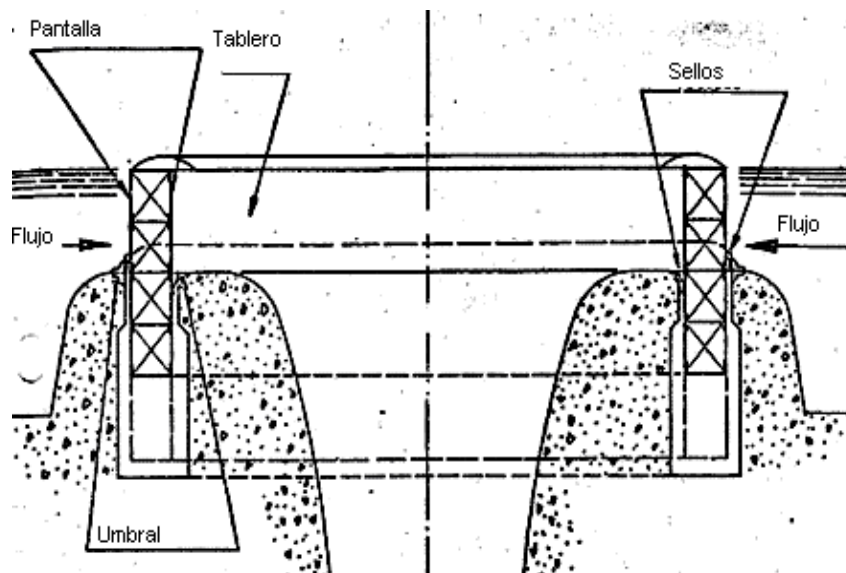


Figura 1.2 Compuerta Tipo Anillo.

Las compuertas tipo anillo son utilizadas en la cresta de los vertederos en las presas que están equipadas con este tipo de vertedero, su movimiento de traslación es longitudinal con el cual realiza la apertura o cierre de la misma.

COMPUERTA TIPO BASCULANTE

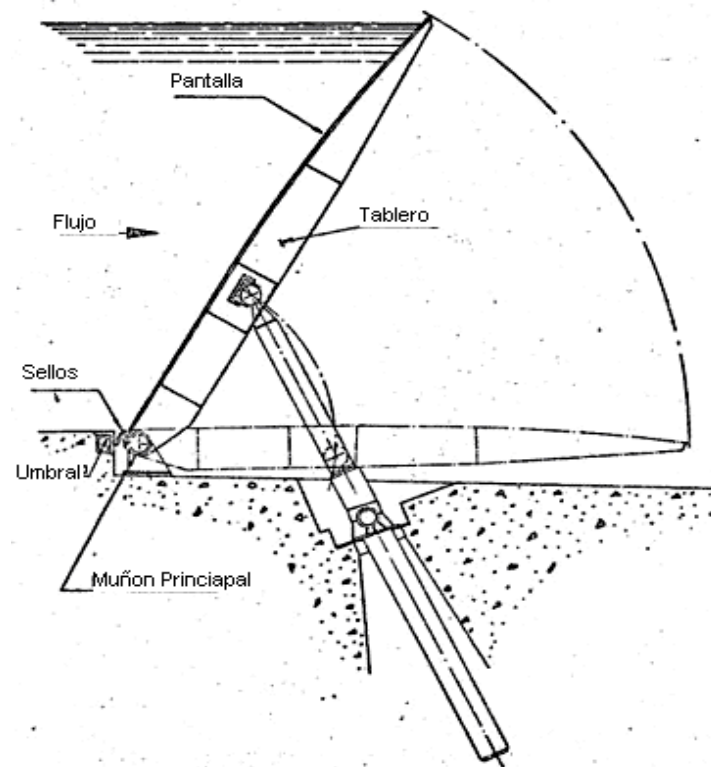


Figura 1.3 Compuerta Tipo Basculante.

Compuerta basculante o clapeta puede ser utilizada tanto en la cima del vertedero de una presa como instalado en el fondo de un río o canal.

Por lo general se la coloca en el fondo de un río o canal tal como se muestra en la figura 1.3 por la ubicación del sistema óleo hidráulico y debido al mismo peso de la compuerta.

COMPUERTA TIPO CILINDRO

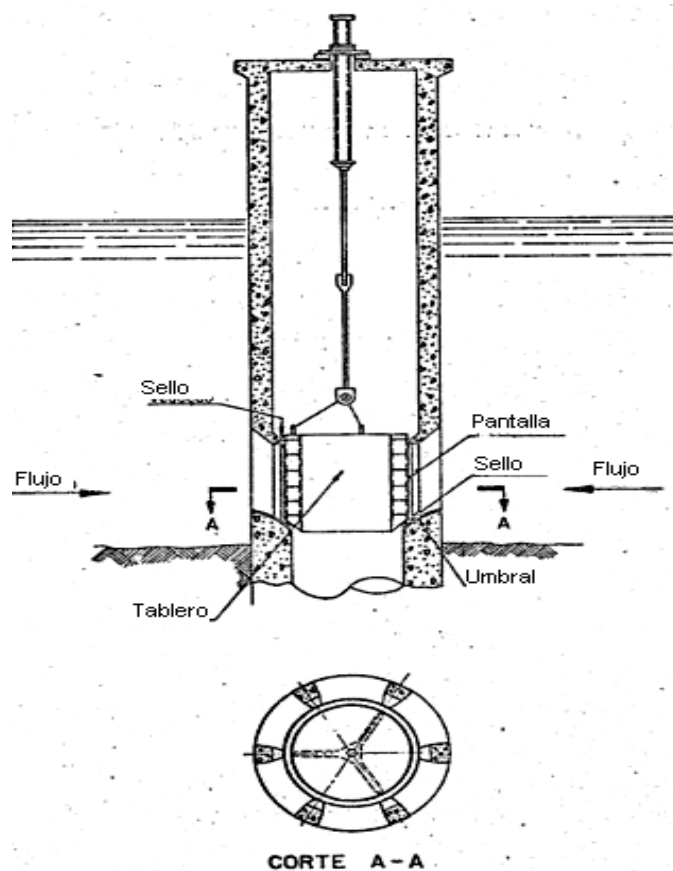


Figura 1.4 Compuerta Tipo Cilindro.

Las compuertas cilindro tienen una pantalla construida en forma de cilindro, con un movimiento de traslación longitudinal de su árbol central se realiza la apertura o cierre de la misma.

Las compuertas cilíndricas se utilizan para descargas en presión permitiendo la colocación de la sección de toma a cualquier profundidad, en un embalse. En el mismo pozo se pueden disponer tomas de agua a diversas alturas. Se acopla fácilmente a una tubería de salida.

COMPUERTA TIPO ESCLUSA

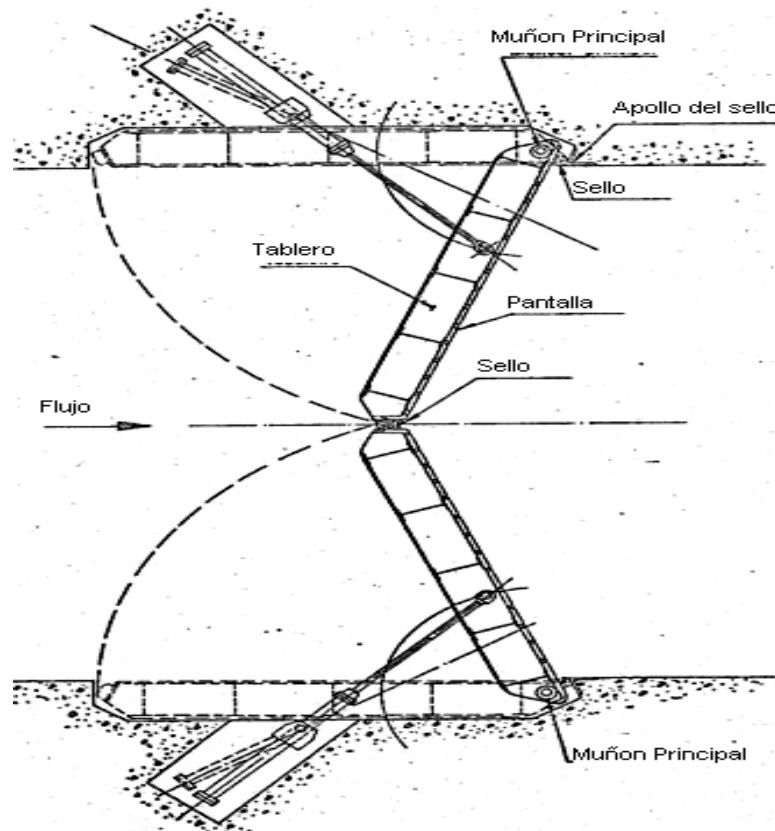


Figura 1.5 Compuerta Tipo Esclusa.

Las compuertas tipo esclusa tienen las bisagras verticales, son accionadas por medios mecánicos, o por pistones hidráulicos. La compuerta se abre para permitir el pasaje del buque. Solo puede ser abierta cuando los niveles de agua fuera y dentro de la esclusa se encuentran con pocos centímetros de diferencia.

COMPUERTA TIPO LAGARTO

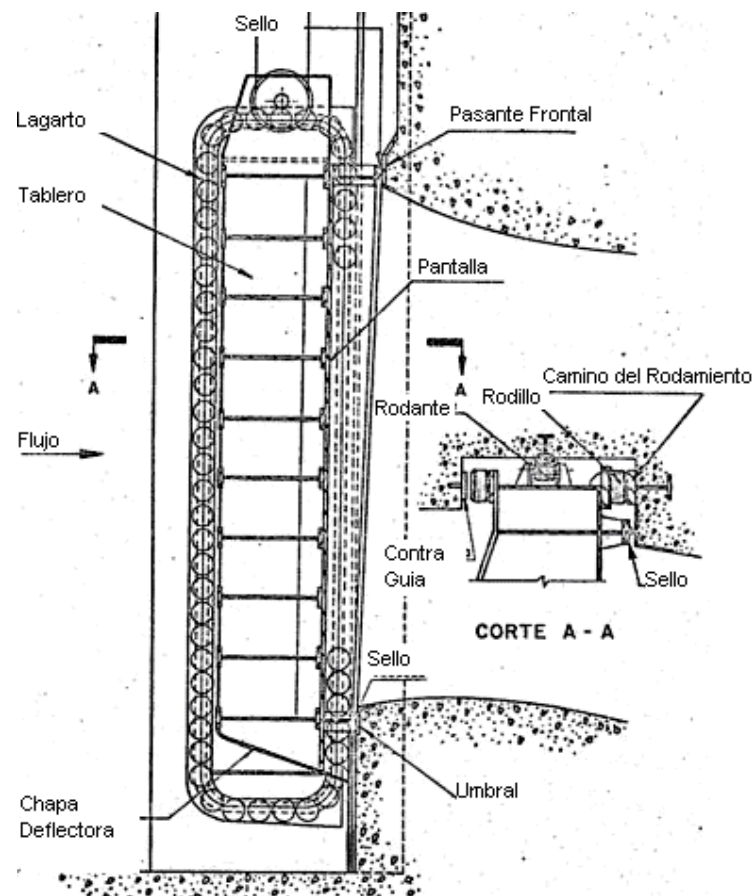


Figura 1.6 Compuerta Tipo Lagarto.

Las compuertas tipo "lagarto" esta dotada de unas cadenas laterales, que se deslizan libremente en el plano vertical para permitir la apertura o cierre de la pantalla, entre las principales desventajas son muy costosas, necesita una alta preedición de ajuste entre las cadenas para su funcionamiento y tienen un mayor costo en su mantenimiento por la gran cantidad de piezas móviles.

COMPUERTA TIPO RODANTE

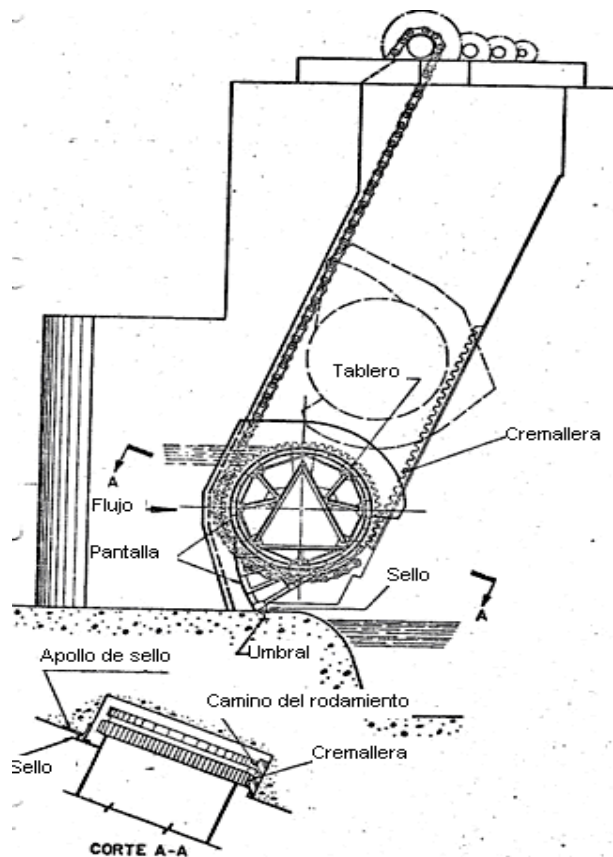


Figura 1.7 Compuerta Tipo Rodante.

La compuerta rodante, utilizada en vertederos de presas, es operada desde los pilares del vertedero accionada por cadenas, una en cada punta. La compuerta, constituida por un cilindro vacío, rueda sobre sí misma al ser elevada o descendida.

COMPUERTA TIPO SECTOR

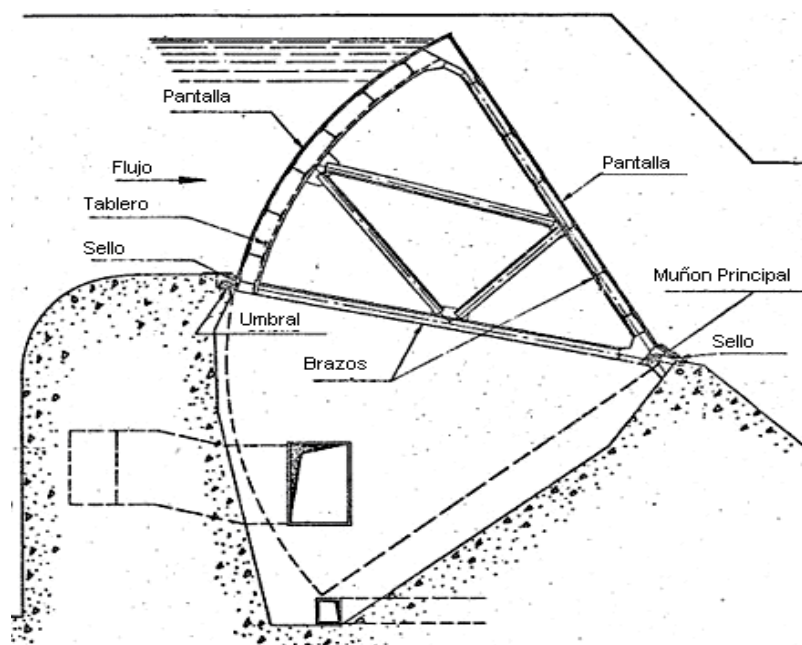


Figura 1.8 Compuerta Tipo Sector.

Compuerta utilizada en vertederos de presas, es operada utilizando el desnivel de agua creado por estas, no requiere de equipo mecánico para su operación.

La necesidad de contar con una cámara donde se abate la compuerta hace que el vertedero no pueda tener la forma óptima, lo que incrementa el volumen de hormigón del mismo.

Su utilización y características son semejantes a la compuerta tipo tambor.

COMPUERTA TIPO SEGMENTO

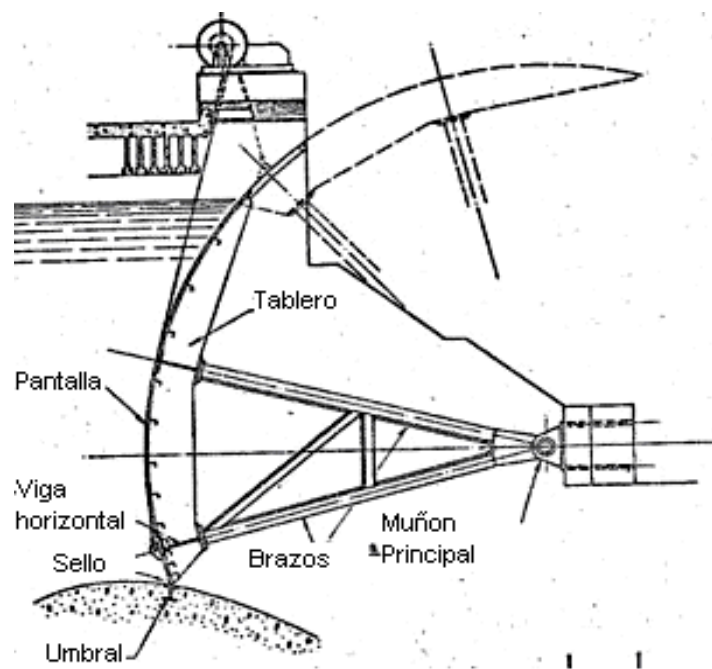


Figura 1.9 Compuerta Tipo Segmento.

Las compuertas de segmento son muy utilizadas en la cresta de los vertederos de las presas. Antiguamente se movían tiradas por

cadenas, mediante dispositivos instalados en los pilares del vertedero. Actualmente son accionadas mediante pistones hidráulicos o neumáticos.

Algunas compuertas de este tipo disponen, en la parte superior, de una parte abatiente, esto permite descargar caudales pequeños, liberar el embalse de materiales fluctuantes, y llenar la cuenca de disipación del vertedero para mejorar su funcionamiento en las fases iniciales de grandes descargas.

COMPUERTA TIPO TAMBOR

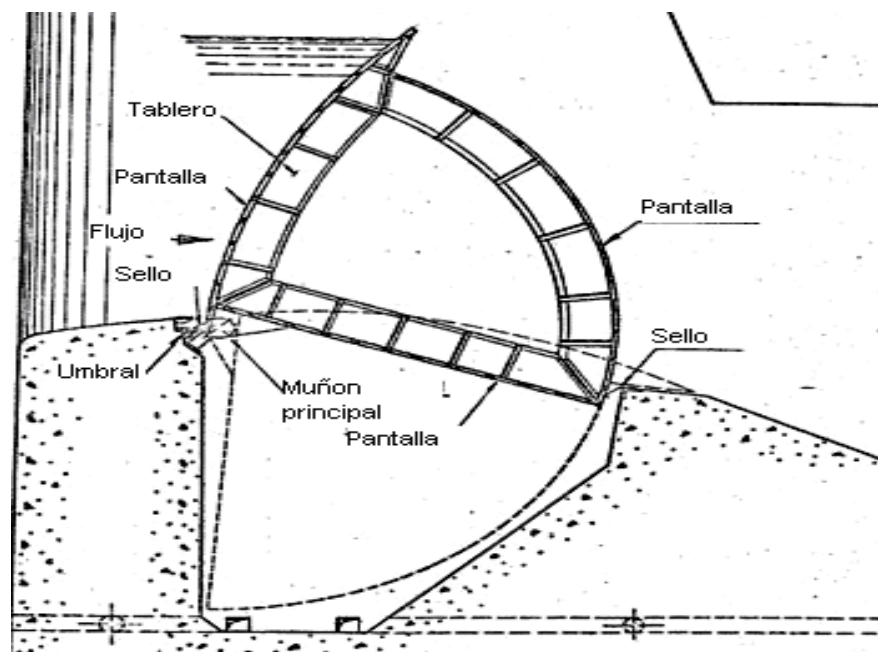


Figura 1.10 Compuerta Tipo Tambor.

La compuerta tipo tambor es un tipo de compuerta utilizada en vertederos de presas, es operada utilizando el desnivel de agua creado por estas, no requiere de equipo mecánico para su operación.

La necesidad de contar con una cámara donde se abate la compuerta hace que el vertedero no pueda tener la forma óptima, lo que incrementa el volumen de hormigón del mismo.

COMPUERTA TIPO STOP LOG

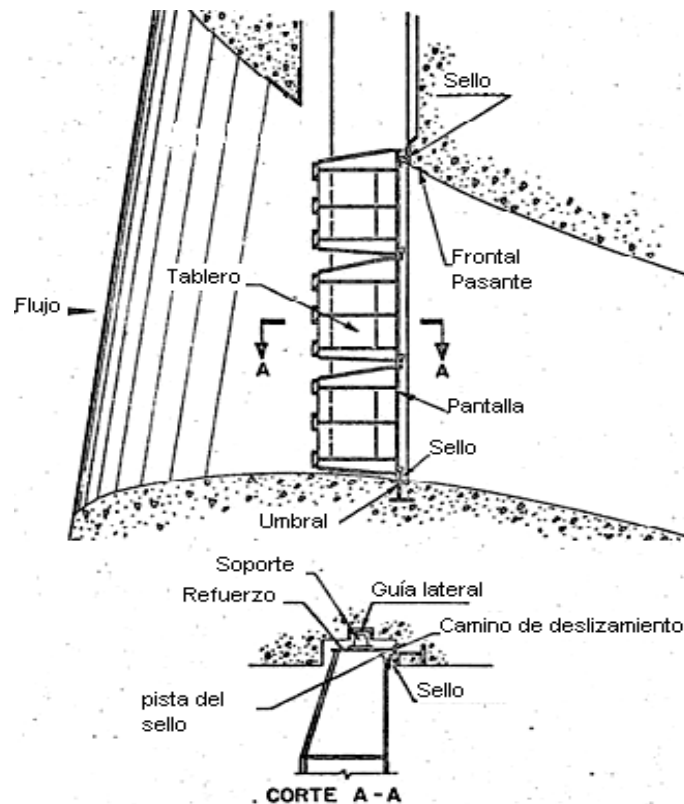


Figura 1.11 Compuerta Stop Log.

La compuerta tipo "Stop Log, es utilizada en vertederos, descargas de fondo, tomas para centrales hidroeléctricas de presas y en canales, como una compuerta auxiliar, para poder hacer el mantenimiento de las compuertas principales. Generalmente son operadas por una grúa móvil.

1.5. Selección del Tipo de Compuerta a Diseñar.

Para la selección del tipo de compuerta se deberá observar el sitio donde se las puede emplear con mayor facilidad para evitar inconvenientes de su funcionamiento.

Se selecciona la compuerta Tipo Segmento Radial por que son compuertas pivotantes que pueden ir en los canales y aliviaderos de presas como elementos de control del nivel del agua o como elemento de regulación y descarga de desagües profundos de presas.

La superficie cilíndrica o pantalla se hace concéntrica con los ejes de los apoyos, de manera que todo el empuje producido por el agua pasa por ellos; de esta forma solo se necesita una pequeña cantidad de movimiento para elevar o bajar la compuerta. Las cargas que

tiene que mover consisten en el peso de la compuerta, los rozamientos entre los cierres laterales, los rozamientos en los ejes.

Sus principales ventajas son:

- Esfuerzo de elevación considerablemente menor.
- Capacidad de regulación, funcionamiento seguro y sencillo, e izado rápido.

1.6. Diseño de Forma de la Compuerta.

Una compuerta tipo Segmento Radial consta de los siguientes elementos:

1. Pantalla
2. Brazos
3. Partes fijas
4. Accionamiento

La pantalla de la compuerta se la elaborada de plancha de acero ASTM A36, se la reforzara mediante vigas horizontales y verticales que forman un conjunto rígido.

El guiado lateral de la compuerta se lo realizara por sistemas de rodillos que en su recorrido se apoyan sobre las partes fijas laterales.

Los brazos serán unidos al tablero por estructuras soldadas o empernadas, que transmiten el esfuerzo al hormigón a través de rotulas esféricas libres de mantenimiento. Las rotulas constan de bocines ampliamente dimensionadas a través de los cuales se transmite el empuje al eje de apoyo sobre el hormigón.

Las maniobras se realizaran por medio de dos cilindros hidráulicos doble efecto, con vástago de acero inoxidable cromado.

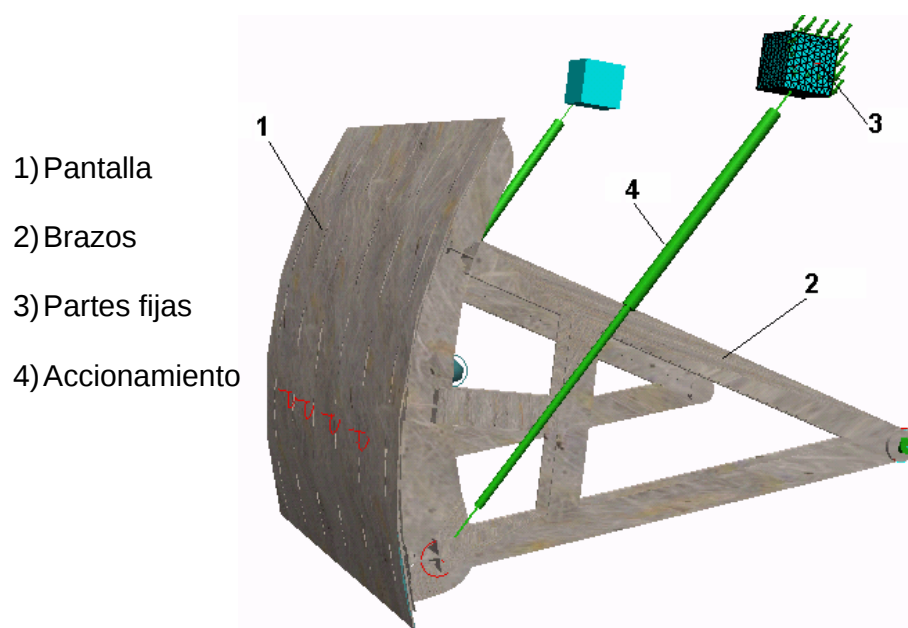


Figura 1.12 Diseño de Forma de la compuerta.

CAPITULO 2

2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA COMPUERTA

Todas las partes de la compuerta se diseñaran por separado, tomando en cuenta las fuerzas relacionadas entre si para cada elemento a diseñar. La compuerta esta conformada por varias partes que a su vez se ensambla por medios de procesos de soldadura y uniones empernadas.

2.1. Análisis de Fuerzas actuando en la Compuerta.

Para el análisis de las fuerzas que actúan en la compuerta se hará un diagrama de cuerpo libre, tomando en cuenta las distintas situaciones a las cuales estará sometida la compuerta tales como:

cuando el río crece y reboza la compuerta, cuando el agua de mar reboza la compuerta, en el estado en que los gatos cierran la compuerta y en el estado que los gatos abren la compuerta.

Siempre para el diseño se tomaran en cuenta las fuerzas más críticas que actúan en la compuerta o en cada uno de sus elementos.

2.1.1. Análisis de Fuerzas en la Compuerta (estado de equilibrio). “Caso1”.

Para efecto de es análisis, se asume como condición que la compuerta solo tiene carga hidrostática en el lado de aguas arriba y que la presión ejercida se encuentra en el lado izquierdo de la compuerta tal como se muestra en la figura 1. Además, se asume para la condición de diseño que el nivel de agua estuviera en reboce para obtener la presión máxima ejercida sobre la compuerta por el agua. A continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre de la compuerta:

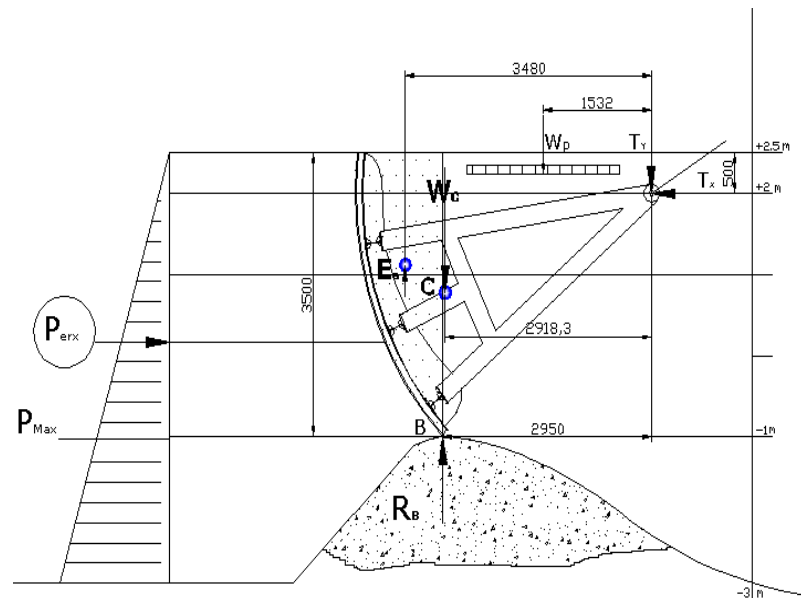


FIGURA 2.1. Diagrama de cuerpo libre “Caso 1”

Donde:

C es el Centro de gravedad de la compuerta Segmento

P_{ERX} : Fuerza ejercida por el Río en N ($\rho=1000 \text{ Kg. /m}^3$)

R_B : Reacción en el punto B

P_{max} : Fuerza ejercida por el río a la profundidad máxima ($\rho=1000 \text{ Kg. /m}^3$)

W_C : Peso de Compuerta

E_a : Empuje ejercido por el agua en el centroide del volumen desalojado.

W_p : Peso de pasamanos y pasarelas bajo Norma NBR

8883

T: Fuerza Resultante en el punto T (muñones de compuerta)

D_i : Distancia desde el centro de presión del elemento (i) hacia el muñón de compuerta (i=a, c, p, b, y).

h: altura de compuerta ($h=H$ condición de reboce)

Se procede a calcular la carga hidrostática horizontal con la ecuación:

$$P_{\text{erx}} = \bar{\gamma} h A \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

$$A = (3.5 \times 4) \text{ m}^2$$

$$\gamma = \rho g$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P_{\text{erx}} = 9.8 \times 1000 \times (3.5/2) \times (3.5) \times (4) = 240262.9 \text{ N}$$

Aplicando la sumatoria de momentos en el muñón de compuerta se tiene que:

$$\sum M_T = 0$$

$$-E_a d_a + W_c d_c + W_p d_p - R_B d_b + P_{\text{ERX}} d_y = 0$$

$$R_B = \frac{-E_a d_a + W_c d_c + W_p d_p + P_{\text{ERX}} d_y}{d_b} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde: $d_a=3.48\text{m}$ $d_c=2.918\text{m}$; $d_b=2.950\text{m}$; $d_p=1.532$; y $d_y=1.83\text{m}$.

d_y se lo calcula restando $(2/3)h$ con la distancia desde el muñón de compuerta hasta el nivel de rebose.

$$d_y = \frac{2}{3}(3.5\text{ m}) - 0.5\text{ m} = 1.83\text{ m}$$

Para estimar el peso de la compuerta se toma un valor aproximado, según el diseño de forma de la compuerta; esto es:

$$W_c = 45263.5\text{ N}$$

Se utiliza la tabla 1 para el cálculo del peso de la pasarela y pasamos que se ubicaran en la compuerta para realizar mantenimiento:

Tabla 1 Cargas verticales de Pasarelas y Pasamanos

Pasarelas	2,5 kN/m ²
Pasamanos	0,5 kN/m

Tomada de la Norma NBR 8883-4.4.3.2

La cual estima una carga debida a pasamanos igual a 500 N/m² y una carga de 2500 N/m² para las pasarelas (ambas como cargas verticales y ubicadas en el centroide aproximado de cada elemento).

Luego, se toma los valores: Longitud de Pasarela Aprox. 4.2m; 0.8m de Ancho; y una longitud de Pasamanos Aprox. 4.2m y se procede a calcular los pesos aproximados. Lógicamente que la longitud real de la pasarela es mucho menor; sin embargo, esto se lo hace para sobredimensionar la carga debida a la pasarela.

$$W_p = 2500(4.2 \times 0.8) + 500 \times 4.2 = 8400 + 2100$$

$$W_p = 10500N$$

Para saber con exactitud el empuje E_a se lo hace por medio del volumen de la columna de agua que desaloja la compuerta (cad3d: 12.898m³) multiplicándolo por el peso específico del fluido desalojado (9800N/m³); esto es:

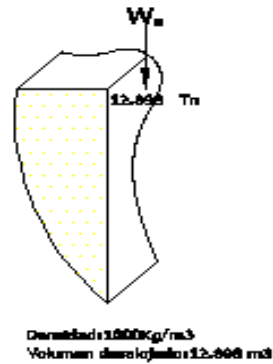


FIGURA 2.2. Volumen de agua desalojado por el río.

$$E_a = V\gamma$$

$$E_a = 12.898 m^3 \times 9800 N / m^3$$

$$E_a = 126486 N$$

Aplicando la sumatoria de Momentos en el punto T ecuación 2.2, se puede obtener la fuerza de Reacción en el Umbral:

$$R_B = 50200.24 N$$

Aplicando la sumatoria de fuerzas en x e y, se tiene que:

$$\sum \overline{F_x} = 0$$

$$P_{\text{erx}} - T_x = 0$$

$$T_x = 240262.9\text{N} \leftarrow$$

$$\sum \overline{F_y} = 0$$

$$E_a - W_c - W_p + R_b - T_y = 0$$

$$T_y = E_a - W_c - W_p + R_a$$

$$T_y = 120922.9 \text{ N} \downarrow$$

Con los valores T_x y T_y se calcula el valor de T_R :

$$T_R = 268976.8\text{N} \quad \theta = -153.28^\circ$$

Por lo tanto, en la compuerta actúan dos fuerzas iguales y aplicadas a cada uno de los brazos de la compuerta; esto es: $T_R/2$:

$T_R/2 = 134488$; @-153.28°; $T_x = -120131.5$ y $T_y = -60461.43$
en N

2.1.2. Análisis de Fuerzas en la Compuerta (estado de equilibrio). “Caso2”

En este caso se hace lo mismo que el caso anterior, considerando que ahora es agua de mar y se encuentra en condición de rebose en el lado derecho (caso hipotético), luego se calcula las fuerzas que actúan en el muñón de la compuerta.

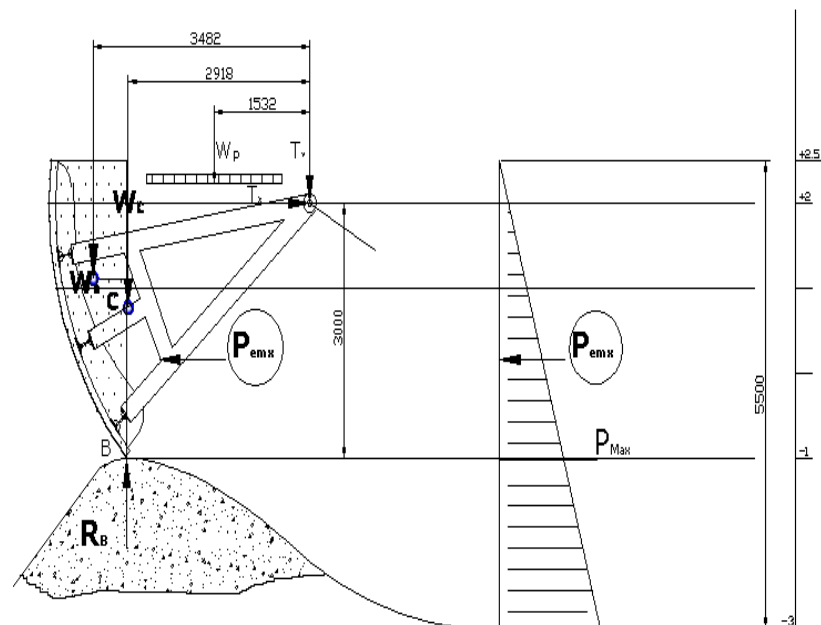


FIGURA 2.3. Diagrama de cuerpo libre “Caso 2”

Donde:

C es el centro de gravedad de la compuerta

P_{emx} : Fuerza ejercida por el Mar en N ($\rho=1040\text{kg/m}^3$)

R_b : Reacción en el punto B

P_{max} : Fuerza ejercida por el mar a la profundidad máxima
($\rho=1040\text{kg/m}^3$)

W_c : Peso de la compuerta

W_a : Peso debido a la columna de agua de Mar
($\rho=1040\text{kg/m}^3$)

W_p : Peso de pasamanos y pasarelas bajo Norma NBR
8883

T: Fuerza Resultante en el punto T (muñón de compuerta)

Luego, la carga hidrostática aguas abajo (der.) es:

$$P_{emx} = \gamma \bar{h} A$$

$$A = (3.5 \times 4) \text{ m}^2$$

$$\gamma = g\delta$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P_{emx} = 9.8 \times 1040 \times (3.5/2) \times (3.5) \times (4)$$

$$P_{emx} = 249873.4 \text{ N}$$

Se hace la suma de momentos con respecto al muñón y se tiene:

$$\sum M_T = 0$$

$$W_c d_c + W_a d_a + W_p d_p - R_B d_b - P_{emx} d_y = 0$$

$$R_B = \frac{W_c d_c + W_a d_a + W_p d_p - P_{emx} d_y}{d_b} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde: $d_c=2.918$; $d_b=2.950$; $d_p=1.532$; $d_a=3.482$ y $d_y=1.83$; todas en metros.

W_a se lo calcula multiplicando el volumen de la columna de agua por la densidad del fluido (agua de mar); esto es:

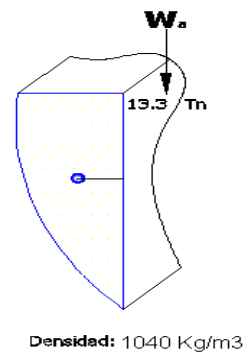


FIGURA 2.4. Volumen de agua salada contenido en la compuerta.

$$W_a = 131546.4N$$

Aplicando la sumatoria de Momentos en T, se obtiene la fuerza de Reacción en el Umbral de la compuerta, Ecuación 2.2.

$$R_B = 49987.44 N$$

Aplicando la sumatoria de fuerzas en x e y, se tiene que:

$$\sum F_x = 0$$

$$-P_{emx} + T_x = 0$$

$$T_x = 249873.4N \rightarrow$$

$$\sum \overline{F_y} = 0$$

$$-W_c - W_a - W_p + R_B + T_y = 0$$

$$T_y = 137322.5N \uparrow$$

Con los valores T_x y T_y se calcula el valor de T:

$$T_R = 285121.5N \quad \theta = 28.79^\circ$$

Por lo tanto, en un muñón actúa una fuerza igual a $T_{R/2}$ equivalente a:

$$T_{R/2} = 142561; @28.79^\circ; T_x = 124937 \text{ y } T_y = 68661.26 \text{ en N}$$

2.1.3. Fuerza ejercida por el gato hidráulico “compuerta cerrada”.

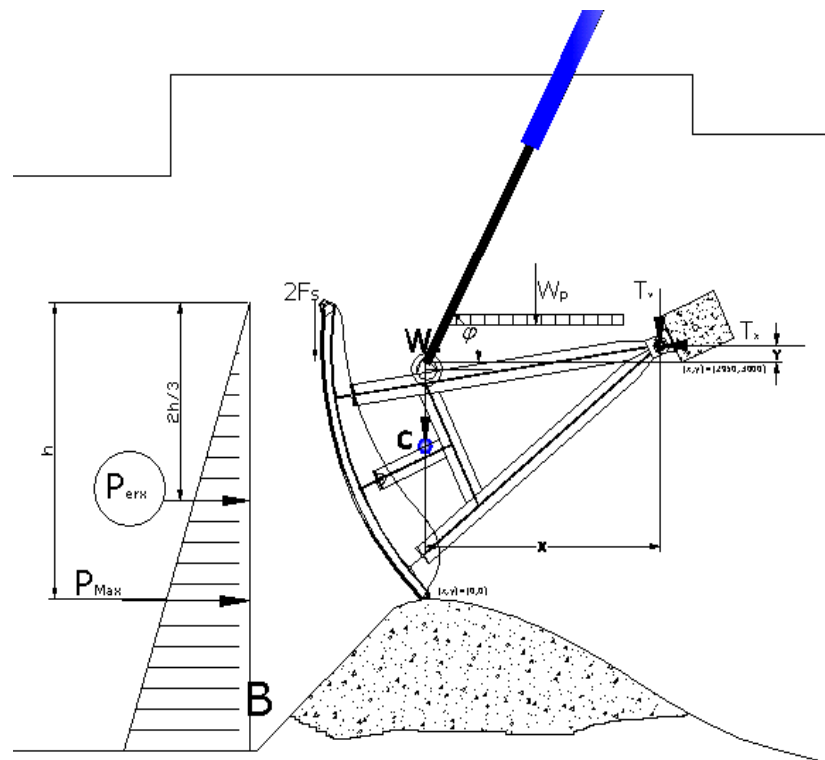


FIGURA 2.5. Diagrama de cuerpo libre Compuerta
Cerrada.

Para este análisis, se considera dos gatos hidráulicos en la posición mostrada. Luego se procede a calcular las fuerzas involucradas.

$$\sum M_T = 0$$

$$- E_a d_a + W_c d_c + 2F_s r + W_p d_p + P_{emx} d_y - A \cdot \text{Sen}(\phi) \cdot (X_a) + A \cdot \text{Cos}(\phi) \cdot (Y_a) = 0$$

$$A = \frac{-E_a d_a + W_c d_c + 2F_s r + W_p d_p + P_{emx} d_y}{(X_a \text{Sen} \phi - Y_a \text{Cos} \phi)} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

Φ : es el ángulo de aplicación del gato hidráulico para abrir la compuerta e igual a 74 grados

R: es el radio de giro de la compuerta

A: fuerza de izado para el gato hidráulico

F_s : Fuerza de Rozamiento producida por los sellos

R_b : Reacción en el umbral aproximadamente igual a cero en el momento del izado de la compuerta.

X_a es la distancia horizontal desde el muñón de compuerta hacia el punto A.

Y_a es la distancia vertical desde el muñón de compuerta hacia el punto A.

Note que, los valores de X_a y Y_a cambian, según la posición de la compuerta, esto hace que la magnitud de las fuerzas disminuyan en el muñón de compuerta. Siendo así, la hipótesis más crítica el punto de partida para los diseños de elementos de compuerta.

La tabla 2 muestra los coeficientes de rozamiento útiles para el cálculo de la fricción en este análisis.

Tabla 2 Coeficiente de Rozamiento

Materiales	Coeficiente de fricción	
	Estático	Dinámico
Acero x acero (no lubricado)	0,40	0,20
Acero x acero (lubricado)	0,30	0,15
Acero x bocin de cobre (no lubricado)	0,20	0,15
Acero x bocin de cobre (lubricado)	0,15	0,10
Acero x bocin de cobre auto lubricante	0,15	0,10

Acero x poliamida	0,25	0,15
Acero x polietileno	0,20	0,10
Acero x elastómero	1,00	0,70
Acero x PTFE	0,10	0,10
Acero x concreto	0,4	0,4
Acero x madera (longitudinal a las fibra)	0,45	-
Acero x madera (transversal a las fibra)	0,55	-

Tomada de la Norma NBR 8883-4.3.3.1

Ahora, se determina el valor de la fricción F_s bajo Norma: EM 1110-2-2702, con un coeficiente de rozamiento estático $\mu_s=1.0$ tomado de la tabla 2 (Acero elastómero) y un peso específico del agua de 9800N/m^3 .

$$F_s = \mu_s \cdot S \cdot \ell + \mu_s \cdot \gamma_w \cdot \frac{d}{2} \left(\ell_1 \cdot \frac{h}{2} + h \cdot \ell_2 \right) \text{ (Ecuación 2.5)}$$

Donde:

μ_s : Coeficiente de rozamiento estático Acero-elastómero

ℓ : Longitud de arco total de compuerta

ℓ_1 : Longitud del sello lateral desde el nivel del agua de mar hasta el nivel del agua de río.

ℓ_2 : Longitud del sello lateral del fondo hasta el nivel del agua de mar.

S: Fuerza por unidad de longitud inducida por la presencia del sello debido a su compresión.

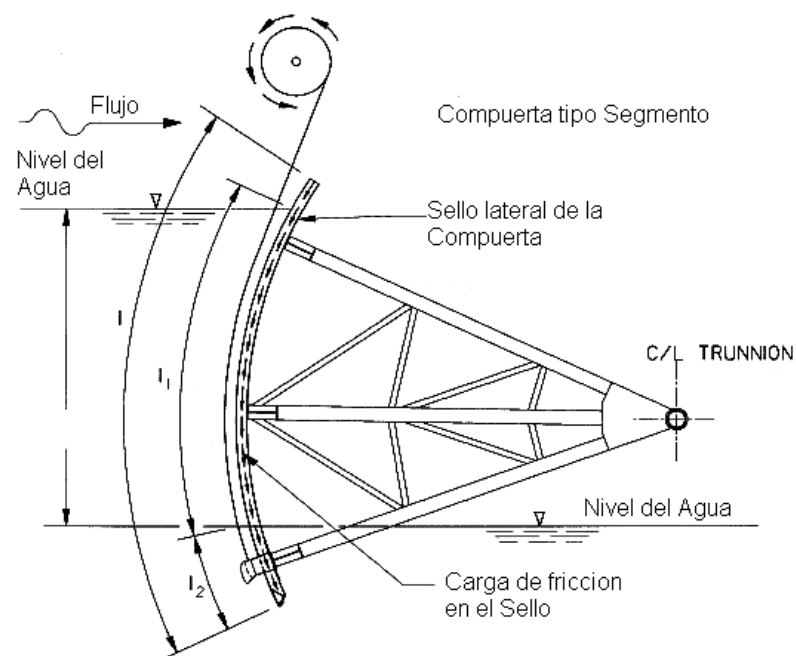


FIGURA 2.6. Fuerzas de fricción en la compuerta

S se lo calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{3 \cdot \delta \cdot EI}{d^3} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

δ : Es el % de elongación del material para el sellado.

E: es el modulo de elasticidad del sello.

I: Inercia del sello

d: longitud libre y útil del sello.

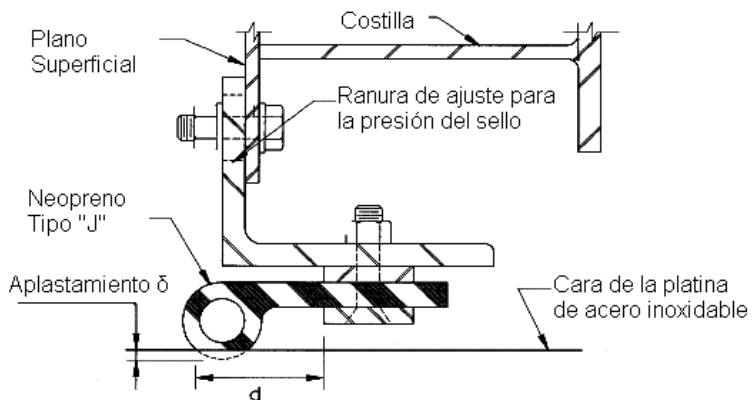


FIGURA 2.7. Presión ejercida en el sello tipo J.

Para el cálculo de la variable S se hace uso de un sello tipo nota musical con las siguientes características:

Sellos: Tipo nota musical.

Material: Neopreno

$\delta = 0.07$ (elongación)

$I: 14.6 \text{ cm}^4$.

$E: 567.42 \text{ N/cm}^2$.

$d: 6 \text{ cm}$.

Luego reemplazando en la Ecuación 2.6 se obtiene:

$$S = 805.91 \text{ N/m}$$

Por lo tanto:

$$F_s = 1x\left(805.36 \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)(3.841 \text{ m}) + 1x\left(9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) \cdot \frac{0.06 \text{ m}}{2} \left(3.84 \text{ m} \frac{3.50 \text{ m}}{2} + 0\right)$$

$$F_s = 5072.98 \text{ N}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 2.4, se tiene que la fuerza de los dos Gatos Hidráulicos es:

$$A = \frac{-12898 \times 3.48 + 4615.6 \times 2.92 + 2 \times 517.3 \times 4.23 + 1070.66 \times 1.53 + 24500 \times 1.83}{2.91 \text{ Sen } 74 - 0.61 \text{ Cos } 74}$$

$$A = 91347.96 \text{ N}$$

Siendo:

$$A_x = 25178.57 \text{ N} \rightarrow; \quad A_y = 87809.72 \text{ N} \uparrow$$

Entonces, la fuerza de un Gato Actuador es:

$$A_c = 45674.47 \text{ N} \quad \theta = 74^\circ$$

Siendo:

$$A_{cx} = 12589.39 \text{ N} \rightarrow; A_{cy} = 43904.37 \text{ N} \uparrow$$

Aplicando la sumatoria de fuerzas en x e y, se tiene que:

$$\sum F_x = 0$$

$$P_{ex} + A_x - T_x = 0$$

$$T_x = P_{ex} + A_x$$

$$T_x = (240262.9 + 25178.57) \text{ N}$$

$$T_x = 265441.5 \text{ N} \leftarrow$$

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$A_y - W_C - W_p - 2F_s - T_y = 0$$

$$T_y = A_y - W_C - W_p - 2F_s$$

$$T_y = 148386.4 \text{ N} \downarrow$$

Con los valores T_x y T_y se calcula el valor de T :

$$T_R = 304102.3N \quad \theta = -150.79^\circ$$

Por lo tanto, en un muñón actuara una fuerza igual a $T_R/2$ equivalente a:

$T_{R/2} = 152051.1$; @ -150.79° ; $T_x = -132720.7$ y $T_y = -74193.19$ en N.

2.1.4. Fuerza ejercida por el gato hidráulico “compuerta abierta”

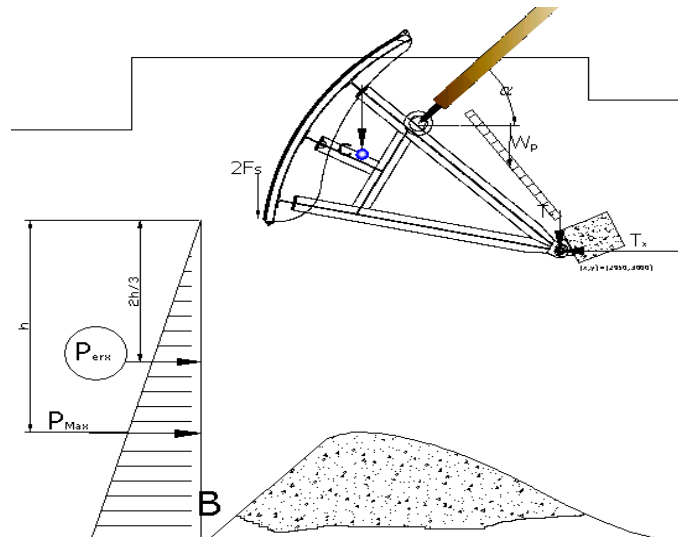


FIGURA 2.8. Diagrama de cuerpo libre Compuerta Abierta.

Para este caso, se hace un análisis similar a los anteriores y se calcula la fuerza de los actuadores.

$$\sum M_T = 0$$

$$W_C d_C - 2F_S r + W_P d_P - A \cdot \text{Sen}(\alpha)(X_a) - A \cdot \text{Cos}(\alpha)(Y_a) = 0$$

$$A = \frac{W_c d_c - 2F_s r + W_p d_p}{X_a \text{Sen } \alpha - Y_a \text{Cos } \alpha} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Donde α es el ángulo de llegada (parte superior) del gato hidráulico (compuerta totalmente abierta) e igual a 40 grados.

Para el cálculo de fuerza de rozamiento se reemplazan los valores $\ell_1=0$ y $\ell_2=0$, puesto que no se encuentra mojado el sello, siendo así:

$$F_s = 1 \times \left(805.36 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) (3.841 \text{m})$$

$$F_s = 30121.81 \text{ N}$$

Reemplazando valores en la ecuación de momentos se tiene que:

$$A_R = 36121.81N$$

$$A_{Rx} = 27671.42N \rightarrow \quad A_{Ry} = 23219.21N \uparrow$$

Entonces, la fuerza de un Actuador es:

$$A_c = 18060.91N \quad \alpha = 40^\circ$$

Siendo:

$$A_{cx} = 13835.22N \rightarrow \quad A_{cy} = 11609.11N \uparrow$$

Aplicando la sumatoria de fuerzas en x e y, se tiene que:

$$\sum \vec{F}_x = 0$$

$$A_x - T_x = 0$$

$$A_x = T_x$$

$$T_x = 36121.81N \leftarrow$$

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$A_y - W_c - W_p + 2 F_s - T_y = 0$$

$$T_y = A_y - W_c - W_p + 2 F_s$$

$$T_y = -26353.41N$$

El signo negativo indica que la fuerza va en sentido contrario al asumido. Luego:

$$T_y = 26353.41N \uparrow$$

Con los valores T_x y T_y se calcula el valor Resultante T_R :

$$T_R = 44713.42N \quad \theta = 143.9^\circ$$

Por lo tanto, en un muñón actúa una fuerza igual a $T_R/2$ equivalente a:

$$T_R/2 = 22356.71; @143.9^\circ; T_x = -18060.9 \text{ y } T_y = 13176.7 \text{ en N}$$

Es decir, que cuando la compuerta está totalmente abierta, los muñones de compuerta hacen el mínimo esfuerzo.

2.1.5. Comprobación de la fuerza de Empuje.

Para facilidad del cálculo, el libro compuertas hidráulicas de Ferreira, determina que:

$$W = \sqrt{W_h^2 + W_v^2} ; \text{ Con } \beta = \arctan(W_v/W_h) \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

W_h : fuerza ejercida por el río en la dirección x

W_v : Fuerza de empuje vertical sobre la compuerta; siendo:

$$W_h = \gamma \cdot B \cdot h \left(H - \frac{h}{2} \right) \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

$$W_v = \gamma \cdot B \cdot R \left[\frac{D_m (\cos(\alpha_s) - \cos(\alpha_i)) + \frac{R(\alpha_i - \alpha_s)}{2}}{2} + \frac{R(\sin(\alpha_s) \cdot \cos(\alpha_s) - \sin(\alpha_i) \cos(\alpha_i))}{2} \right] \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

B: Ancho de la compuerta

R: radió de curvatura de la pantalla.

H: altura referida a la solera e igual a h para compuerta segmento.

D_m : diferencia de cotas entre el nivel superior N.A. y el muñón de compuerta.

D_i : diferencia de cotas entre el muñón de compuerta y la solera de compuerta.

D_s : diferencia de cotas entre el muñón de compuerta y el nivel de agua N.A. (Compuerta segmento)

$$\alpha_s = \arcsin (D_s/R)$$

$$\alpha_i = \arcsin (D_i/R)$$

Datos: $H = h = 3.5$; $B=4$; $D_m=0.5$; $D_s=-0.5$; $D_i=3$; todos en metros.

$$\alpha_s = -0.11933 \text{ Rad.} = 6.84^\circ; \cos (\alpha_s)=0.993 \text{ y } \sin (\alpha_i)=-0.119$$

$$\alpha_i = -0.79560 \text{ Rad.}=45.58^\circ; \cos (\alpha_i)=0.699 \text{ y } \sin (\alpha_i)=-0.7142$$

Reemplazando valores en la Ecuación 2.8, 2.9 y 2.10 se tiene que:

$$W_h = 240262.9 \text{ N}$$

$$W_v = 126838.1 \text{ N}$$

$$W = 271687.4 \quad \alpha = 27.83^\circ$$

Como se puede observar, el resultado anterior es similar al cálculo de las hipótesis iniciales tomando la componente del Empuje E_a (126487.2N)(↑) y la fuerza ejercida por el río (240262.9N) (→) se tiene P (271337.3N) con un ángulo de aplicación de 27.76° .

2.2. Determinación del espesor de la placa de Compuerta.

Para determinar el espesor de la pantalla de compuerta, se hace uso de la tabla 3. Norma NBR 8883 4.1.9.4 que establece lo siguiente:

$$\sigma = \pm \frac{K}{100} \cdot p \frac{a^2}{t^2} \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Donde:

σ es el esfuerzo de flexión debido a la presión hidrostática pura.

K: coeficiente en función de las condiciones de apoyo y la tabla 8 de la norma NBR 8883.

a: menor dimensión de placa

b: mayor dimensión de la placa

t: espesor de la plancha a utilizar para la pantalla.

P: presión hidrostática pura en el centro de la placa.

Se procede a calcular P de la siguiente manera:

$$P = (\rho \cdot g) Y_p$$

Donde Y_p es la distancia desde el N.A. hasta el centro de la placa.

Luego, $Y_p = 2.7\text{m}$; entonces tenemos:

$$P = 9800(\text{N/m}^3) \times (2.7\text{m}) = 26478 \text{ Pa.}$$

A continuación se muestra la tabla 3 de la norma NBR 8883-4.9.2.1 para el coeficiente k.

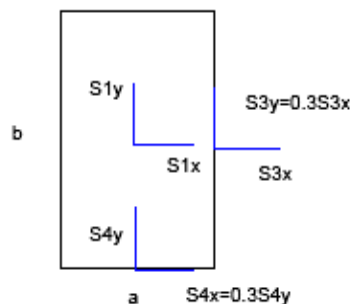


FIGURA 2.9. Esfuerzos actuando en la placa.

Tabla 3: Coeficientes k para el cálculo de esfuerzos en la placa

	Cuatro lados		Cuadro lados empotrados				Un lado mayor apoyado y tres empotrados				Un lado menor apoyado y tres empotrados			
b/a	$\pm S1x$	$\pm S1y$	$\pm S1x$	$\pm S1y$	$\pm S4y$	$\pm S3x$	$\pm S1x$	$\pm S1y$	$\pm S4y$	$\pm S3x$	$\pm S1x$	$\pm S1y$	$\pm S4y$	$\pm S3x$
∞	75,0	22,5	25,0	7,5	34,2	50,0	37,5	11,3	47,2	75,0	25,0	7,5	34,2	50,0
3,00	71,3	24,4	25,0	7,5	34,3	50,0	37,4	12,0	47,1	74,0	25,0	7,6	34,2	50,0
2,50	67,7	25,8	25,0	8,0	34,3	50,0	36,6	13,3	47,0	73,2	25,0	8,0	34,2	50,0
2,00	61,0	27,8	24,7	9,5	34,3	49,9	33,8	15,5	47,0	68,3	25,0	9,0	34,2	50,0
1,75	55,8	28,9	23,9	10,8	34,3	48,4	30,8	16,5	46,5	63,2	24,6	10,1	34,1	48,9
1,50	48,7	29,9	22,1	12,2	34,3	45,5	27,1	18,1	45,6	56,5	23,2	11,4	34,1	47,3
1,25	39,6	30,1	18,8	13,5	33,9	40,3	21,4	18,4	42,5	47,2	20,8	12,9	34,1	44,8
1,00	28,7	28,7	13,7	13,7	30,9	30,9	14,4	16,6	36,0	32,8	16,6	14,2	32,8	36,0

	Un lado más grande libre y tres empotrados				Un lado más pequeño libre y tres empotrados			
b/a	$\pm S1x$	$\pm S1y$	$\pm S4y$	$\pm S3x$	$\pm S1x$	$\pm S1y$	$\pm S4y$	$\pm S3x$
∞	65,0	25,5	103,6	300,0	25,0	7,5	50,0	33,5
3,00	11,2	18,0	100,4	216,4	25,0	7,5	50,0	33,5
2,50	0,1	26,8	95,7	175,3	25,0	7,5	49,9	33,5
2,00	11,3	32,0	85,4	124,9	24,8	7,7	49,7	33,5
1,75	14,4	31,9	77,4	98,5	24,3	8,9	49,0	33,5
1,50	15,2	29,7	67,1	73,7	23,6	9,3	47,0	33,4
1,25	13,6	25,5	54,7	51,6	21,1	9,5	43,2	33,3
1,00	9,9	19,6	40,7	33,1	19,6	9,9	40,7	33,1

Tomada de la Norma NBR 8883-4.9.1.4

Se asume que la fuerza de presión actúa a los 2.7m bajo el nivel del agua y que actúa normal a la superficie como se muestra en la Figura 2.10:

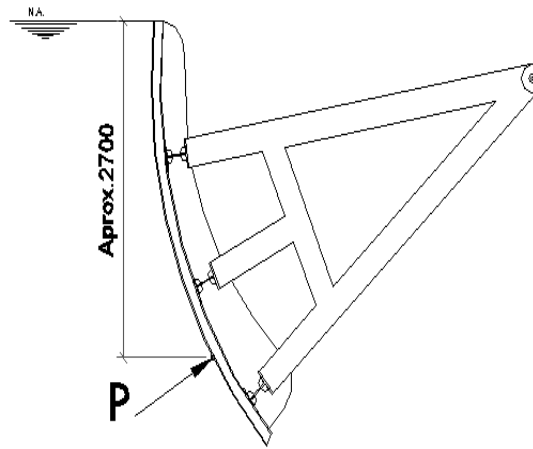


FIGURA 2.10. Presión hidrostática en la compuerta.

Luego, para el análisis del cálculo de pantalla de compuerta, se establecen amarres en los perfiles verticales de la compuerta cada $b=1000\text{mm}$ y separación $a=680\text{mm}$. A continuación se procede a calcular la relación b/a :

$b/a = 1.47 \approx 1,5$; Luego de la tabla 3 (NBR 8883) se tiene:

$$K_{1x}=22.1$$

$$K_{1y}=12.2$$

$$K_{4y}=34.3$$

$$K_{3x}=45.5$$

Posteriormente, de acuerdo a la ecuación 2.11 tenemos los esfuerzos principales que actúan en la placa de la pantalla de la compuerta:

$$\sigma_{1x}=\pm(22.1/100)(2.646 \text{ N/cm}^2)(68)^2/(1^2)=\pm 2700 \text{ N/cm}^2=\pm 27 \text{ MPa}.$$

$$\sigma_{1y}=\pm(12.2/100)(2.646 \text{ N/cm}^2)(68)^2/(1^2)=\pm 1490 \text{ N/cm}^2=\pm 14.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{4y}=\pm(34.3/100)(2.646 \text{ N/cm}^2)(68)^2/(1^2)=\pm 4200 \text{ N/cm}^2=\pm 42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3x}=\pm(45.5/100)(2.646 \text{ N/cm}^2)(68)^2/(1^2)=\pm 5570 \text{ N/cm}^2=\pm 55.7 \text{ MPa}$$

Siendo así; por la tabla anterior:

$$\sigma_{4x} = \pm 0.3 \times \sigma_{4y} = \pm 1260 \text{ N/cm}^2 = 12.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3y} = \pm 0.3 \times \sigma_{3x} = \pm 1671 \text{ N/cm}^2 = 16.71 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de corrección $s=0.87$ de la tabla 4 de la norma NBR 8883 4.8.7.1; y sabiendo que $Se=248.1 \text{ MPa}$ (ASTM A36), se puede calcular el esfuerzo admisible para comparar los valores calculados anteriormente:

$$\sigma_{adm} = s.Se = 0.87 \times 248.1 \text{ MPa} = 215.85 \text{ MPa}$$

Como se puede observar, en todos los casos el factor de seguridad es alto; por ejemplo, para el valor de mayor relevancia tenemos:

$$\eta = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{215.85 \text{ MPa}}{55.7 \text{ MPa}} = 3.87 \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

Este valor es superior a los factores de seguridad que recomienda la NRR 8883, por lo tanto cumple las expectativas de resistencia.

Tabla 4: Coeficientes para cálculo de esfuerzos admisibles

	Esfuerzo	Caso de carga		
		Normal	Ocasional	Excepcional
Elementos estructurales	Esfuerzo virtual de la compresión	0,76	0,82	0,92
	Esfuerzo virtual de compresión en la pantalla	0,87	0,87	0,92
	Presión de contacto con movimiento relativo	0,55	0,60	0,70
	Presión de contacto sin movimiento relativo	0,90	0,90	0,90
Elementos mecánicos	esfuerzo virtual de la compresión	0,50	0,63	0,90
	Esfuerzo virtual de compresión en ojales (la sección que pasa por el agujero) analizados conforme 4.10.1	0,30	0,35	0,40
	Esfuerzo cortante en elementos cortos conforme 4.8.6.6.3	0,39	0,43	0,51
	Presión de contacto con movimiento relativo	0,55	0,60	0,70
	Presión de contacto sin movimiento relativo	0,90	0,90	0,90

Tomada de la Norma NBR 8883-4.8.7.1

2.2.1. Cálculo de flexión de la placa.

Para el cálculo de la deflexión, el libro de Compuertas Hidráulicas de Ferreira Erbisti, establece el coeficiente α (Timoshenko) en función de la relación (b/a) y lo calcula de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{\alpha \cdot p \cdot a^4}{E \cdot t^3} \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Donde:

α : es el coeficiente de Timoshenko. Interpolando valores de la tabla 5 se tiene $\alpha = 0.0235$

p: presión hidrostática en el centro de la placa

a: espaciamiento entre perfiles verticales

E: Módulo de elasticidad del acero (2.1×10^5 MPa.)

t: espesor de la plancha utilizada (10mm=1cm)

Siendo la presión hidrostática

$$P = (\rho g) Y_p$$

$$P = 26478 \text{ Pa.}$$

Se reemplazan valores en la ecuación 2.13 y tenemos que:

$$\delta = \frac{0.0235 \times 2.6478 \frac{N}{cm^2} \times (68cm)^4}{(2.1 \times 10^7 \frac{N}{cm^2})(1cm)^3} = 0.0646cm$$

$$\delta = 0.646mm$$

Tabla 5: coeficiente α

b/a	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	∞
α	0,0138	0,0188	0,0226	0,0251	0,0267	0,0277	0,0284

Tomada a del libro de compuertas hidráulicas de Ferreira Erbisti segunda Edición.

2.2.2. Cálculo de la longitud útil de la plancha de Compuerta.

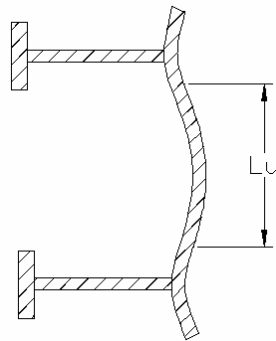


FIGURA 2.11. Longitud útil de la placa.

La norma NBR 8883 establece una limitación adicional para el cálculo de la pantalla de compuerta:

$$L_u \leq 1.56 (R.t)^{0.5} \text{ (Ecuación 2.14)}$$

Donde:

L_u : Longitud útil de placa de compuerta.

R: radio de curvatura de la plancha

t: espesor de la plancha a utilizar.

La plancha a utilizar es de material ASTM A36; espesor 10mm, R= 4200 mm.

Entonces se tiene:

$$L_u \leq 1.56(4200 \times 10)^{0.5}$$

$$L_u \leq 319.7 \text{ mm}$$

Para determinar el gráfico de momentos de la placa, se procede a calcular las variables que muestran los gráficos siguientes:

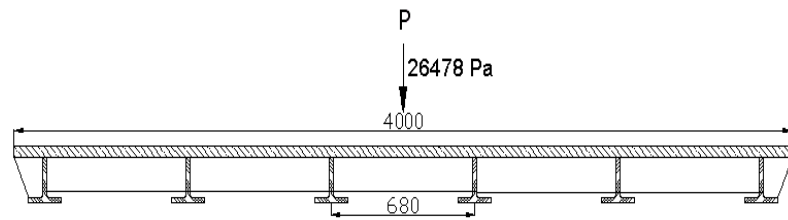


FIGURA 2.12. Distribución de los perfiles verticales en la compuerta.

Ésta es la distribución de los perfiles verticales a lo largo de la pantalla.

A continuación, se muestra en la figura 2.12 sacada del manual de compuertas hidráulicas el cual calcula la posición y los momentos nulos a lo largo de la placa de pantalla de la compuerta: (Diagrama de Momentos en la placa).

γ_0 Es el coeficiente de reducción (adimensional) dado en la Figura 2.13 en función de la relación L/B , en donde L es la distancia medida entre dos puntos consecutivos de momentos nulos. En la región entre apoyos, se adopta L_I y γ_I en la región entre los apoyos, L_{II} y γ_{II} en la región de

apoyos, B es la mitad del ancho de la placa medido entre dos vigas consecutivas o rigidizadores.

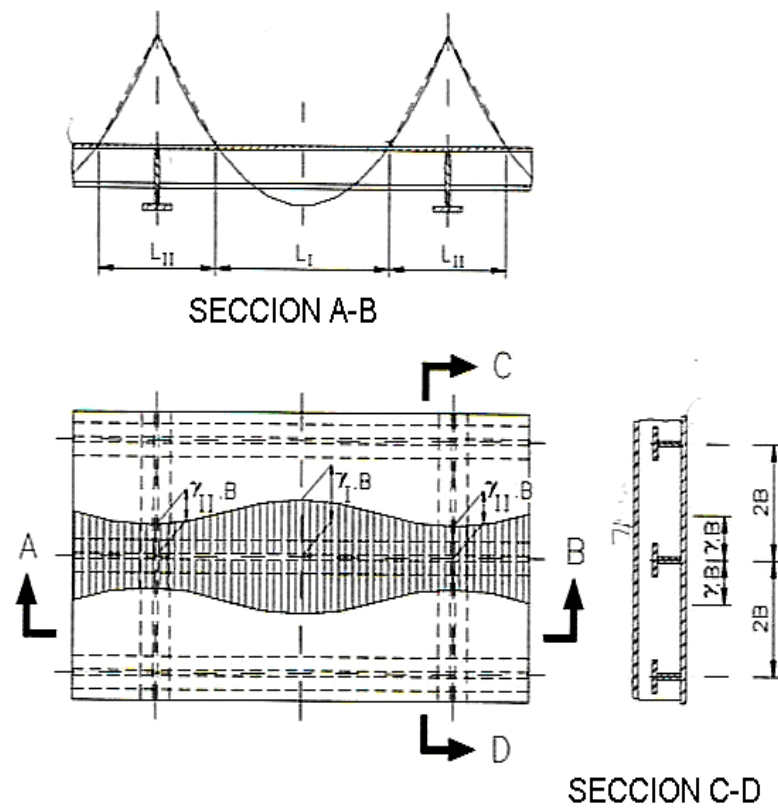


Figura 2.13. Distribución del momento flexor y del ancho de apoyo de la placa.

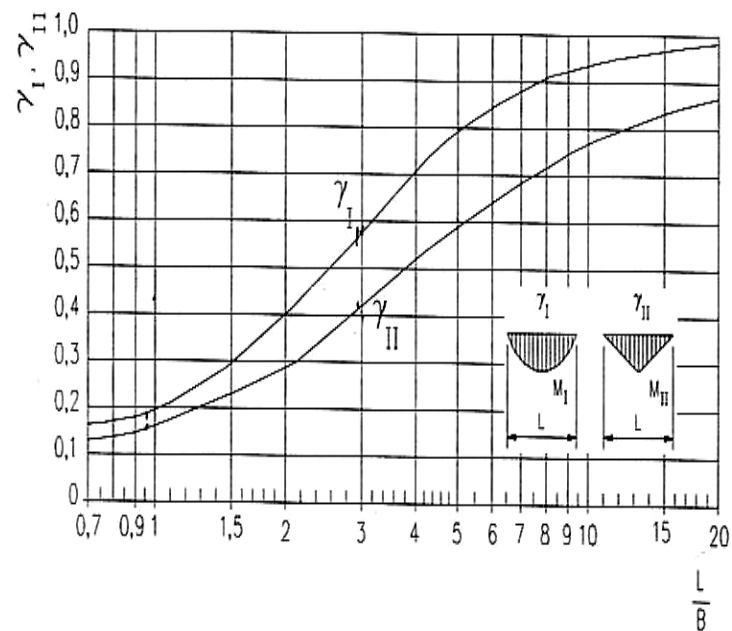


Figura 2.14. Coeficientes de reducción (NBR 8883)

Para el cálculo de las variables γ_I y γ_{II} se hace uso de la Figura 2.14. Esto nos permitirá conocer el comportamiento del diagrama de momentos en la plancha. Entonces:

$$2B = 680\text{mm} \rightarrow B = 340\text{mm};$$

$$\text{Luego, } L/B = 1000/340 = 2.94117$$

Con este valor, acudimos a la tabla que muestra la norma NBR 8883 4.9.1.1 determinando los valores de γ_I y γ_{II} .

Esto es:

$$\gamma_I = 0.57 \quad \text{y} \quad \gamma_{II} = 0.42$$

Entonces:

$$B. \gamma_{II} = 142.8 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$L_I = 680 \text{ mm} - 2 \times 142.8 \text{ mm} = 394.4 \text{ mm}$$

$$L_{II} = 285.6 \text{ mm}$$

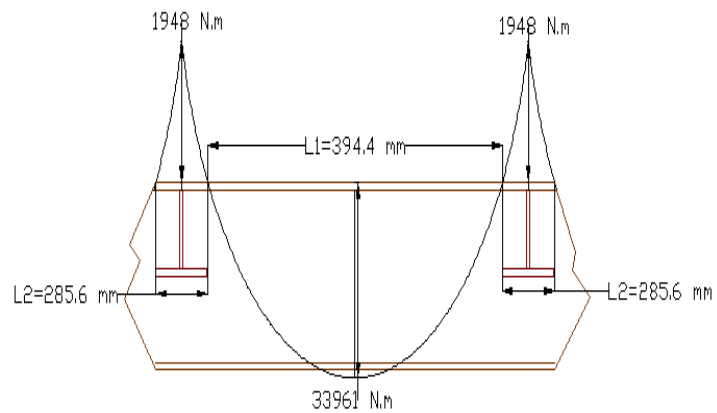


Figura 2.15. Distribución del Momento flector en la pantalla.

2.2.3. Cálculo de la deflexión por el Método FEM.

Para este análisis se hace uso del modelo anterior, aplicando una presión distribuida sobre la placa de compuerta equivalente a 26478 Pa., además, se establece como condiciones de frontera a las alas de los perfiles TEE para estimar el comportamiento solo de la pantalla de compuerta. El método de cálculo diferencial utilizado fue el de Kutta-Merson con Material ASTM-36.

Property	Value	Unit
Material	ASTM-A36	
Temperature	298.1	K
Mass Density	7850	kg/m ³
Elastic Modulus	2e+11	Pa
Poisson's Ratio	0.29	
Yield Stress	2.48e+8	Pa
Ultimate Tensile Stress	4.48e+8	Pa
Specific Heat	418	N m / (kg K)
Thermal Conductivity	46.7	N m / (s m K)
Thermal Coeff. of Expansion	1.13e-5	m / (m K)

Figura 2.16. Propiedades del material.

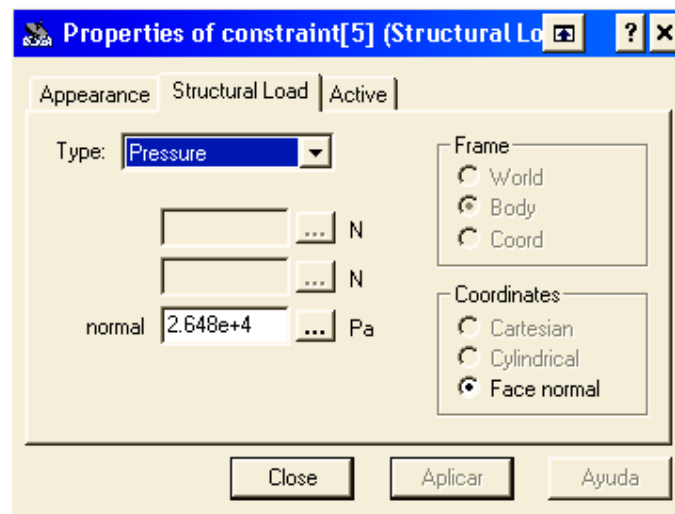


Figura 2.17. Presión aplicada.

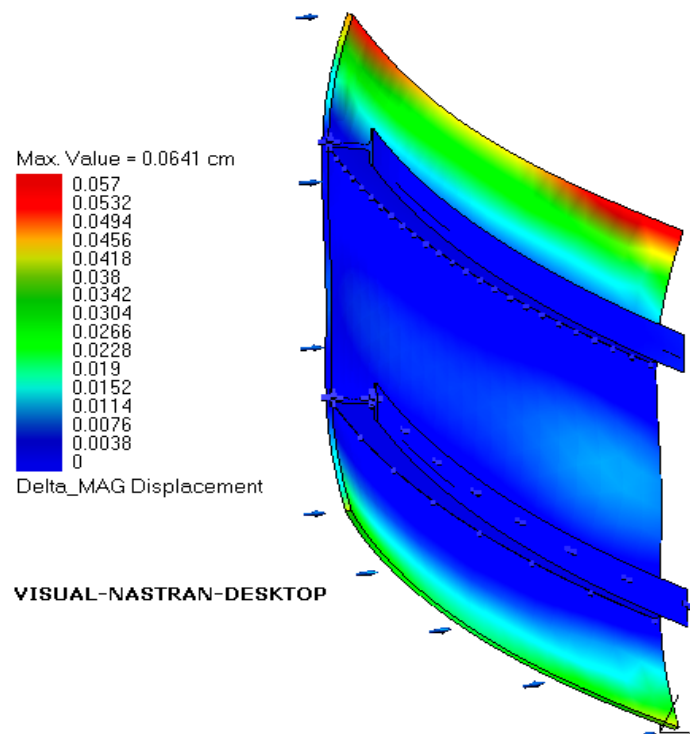


Figura 2.18. Comportamiento de la Placa de compuerta.

Esta condición nos permite conocer la deformación en los bordes de la compuerta. Por ello, en el diseño de la compuerta se colocan rigidizadores laterales para evitar la deformación en la plancha.

Lo cual se puede comprobar aumentando los rigidizadores en la compuerta y realizando nuevamente la simulación de presión en la compuerta.

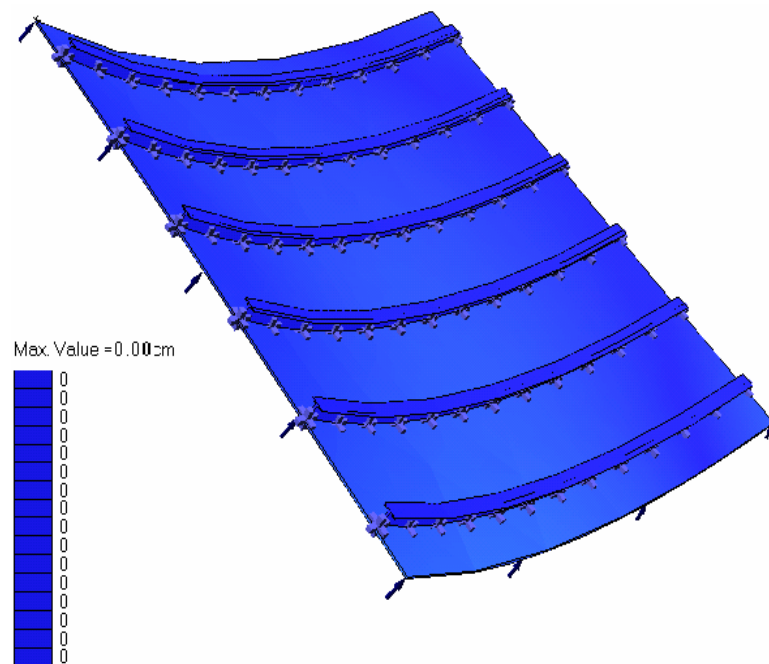


Figura 2.19. Comportamiento de la Placa de compuerta reforzada.

2.3. Vigas Horizontales en la Compuerta Segmento.

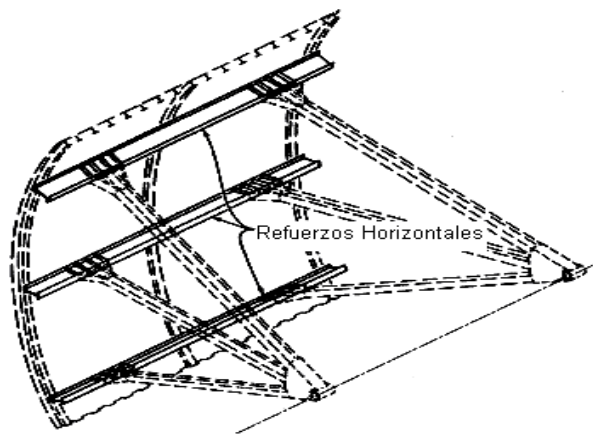


Figura 2.20. Vigas horizontales en la compuerta.

Para el cálculo de las vigas horizontales de la compuerta primeramente se calcula la cantidad de vigas a colocar en la pantalla, para luego proceder a calcular el espesor de que debe tener cada viga horizontal y su resistencia a la defección causada por la presión del agua.

2.3.1. Cantidad de Vigas Horizontales en la Compuerta.

Para determinar la cantidad de vigas que tendrá la compuerta segmento, el libro de Compuertas hidráulicas de Ferreira, establece la siguiente ecuación:

$$N_0 = \frac{100 \cdot h}{t} \sqrt{\frac{H_m}{2 \cdot \sigma_{adm}}} \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Donde:

N_0 es el número de vigas mínima de la compuerta

h : altura de sellado de la compuerta en metros

σ_{adm} =Esfuerzo admisible de flexión del acero en MPa.

t : espesor de pantalla en mm.

H_m : metros de columna de agua en la compuerta.

El esfuerzo admisible de acuerdo a la tabla 6 del libro de Compuertas Hidráulicas de Ferreira es:

$$\sigma_{adm} = 0.68 S_e = 0.68 \times 248 \text{ MPa} = 168.64 \text{ MPa}.$$

Reemplazando valores en la ecuación 2.15, se tiene:

$$N_0 = \frac{100 \cdot (3.5)}{10} \sqrt{\frac{3.5 / 2}{2 \times 168.64}} = 2.5$$

Por lo tanto, se puede decir que con 2 o 3 vigas horizontales el sistema cumple con las expectativas. En este caso se utilizará 3 vigas de horizontales montadas

sobre los perfiles TEE curvados pertenecientes a la pantalla de compuerta.

A continuación se calcula el espesor mínimo de los perfiles horizontales de la pantalla de compuerta.

2.3.2. Espesores de Almas en Vigas Horizontales.

Se toma la ecuación (5-7) del libro de compuertas hidráulicas de Ferreira para este cálculo:

$$t = \frac{F}{2 \cdot h_v \cdot \tau_{adm}} \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Donde:

F: carga hidrostática actuante en la viga $\approx W=271687.4$ N.

h_v : altura del perfil seleccionado

τ_{adm} : esfuerzo admisible de corte calculado con la tabla 7

Considerando como material al ASTM A36 con $S_y = 248.1$ MPa y la tabla 6 para el valor de $s = 0.39$, tenemos:

$$\tau_{adm} = 0.39S_y = 96.76 \text{MPa}$$

Luego:

$$t = \frac{271687.4N}{2.(24cm).(9676N/cm^2)} = 0.585cm$$

Es decir, los perfiles horizontales deberán tener un espesor de alma:

$$t_a \approx 6mm.$$

2.3.3. Esfuerzo de Corte en Almas de Perfiles de Compuerta.

Para el cálculo del esfuerzo cortante en las almas de los perfiles (U, H o I) se hace uso de la norma NBR-8883-4.8.6.4 que establece lo siguiente:

$$\tau = \frac{V}{t_a.(h_v - 2.t_m)} \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Donde

τ : Esfuerzo cortante calculado

t_a : espesor del alma del perfil

t_m : espesor medio del ala del perfil

h_v : altura del perfil

Se asume que la fuerza máxima de empuje actúa uniformemente sobre la viga considerando el número de perfiles verticales de la pantalla ($N=6$) actuando en el centroide del alma del perfil; siendo así, tenemos:

Para el perfil TEE mostrado en el diseño de forma de la compuerta segmento: $h_v=100\text{mm}$, $t_m=10\text{mm}$ y $t_a=6\text{mm}$, según tablas normalizadas.

$$W/6 = 271687.4 \text{ N} / 6 = 45281.2 \text{ N}$$

Luego reemplazando en la Ecuación 2.17 se tiene:

$$\tau = \frac{45281.2\text{N}}{0.6\text{cm}(10\text{cm} - 2 \times 1\text{cm})} = 9433.6\text{N/cm}^2$$

A continuación, se procede a calcular el factor de seguridad de dicho perfil en base al esfuerzo admisible utilizando la tabla 5-1 del Libro de Compuertas hidráulicas por Paulo Cesar Ferreira Erbish, segunda edición.

Tabla 6: Coeficiente para cálculo de esfuerzo admisible

Estructural

Esfuerzo	Caso de Carga		
	Normal	Ocasional	Excepcional
Tracción axial, Tracción y Compresión a Flexión	0,68	0,76	0,89
Compresión a Flexión, cuando necesita una verificación de estabilidad	0,59	0,68	0,79
Cortante	0,39	0,44	0,51
Esfuerzo de Compresión	0,76	0,82	0,92

Tomada del Libro de Compuertas hidráulicas por Paulo

Cesar Ferreira Erbisch 2da Edición.

Se sabe que el material es acero ASTM A36 con $S_y=248.1\text{MPa}$, de la tabla anterior, $s=0.39$, tenemos:

$$\tau_{\text{adm}} = 0.39S_y = 96.76\text{MPa} = 8086\text{N/cm}^2$$

Luego el factor de seguridad es:

$$\eta = \frac{\tau_{adm}}{\tau} = \frac{24810 \text{ N / cm}^2}{9433.58 \text{ N / cm}^2} = 2.62$$

Es decir que el perfil seleccionado con alma $e=6\text{mm}$ es un resultado coherente para formar parte de la pantalla de compuerta segmento.

2.3.4. Flexión en las vigas Horizontales.

En este cálculo se considera la figura 2.21, la cual establece las siguientes ecuaciones:

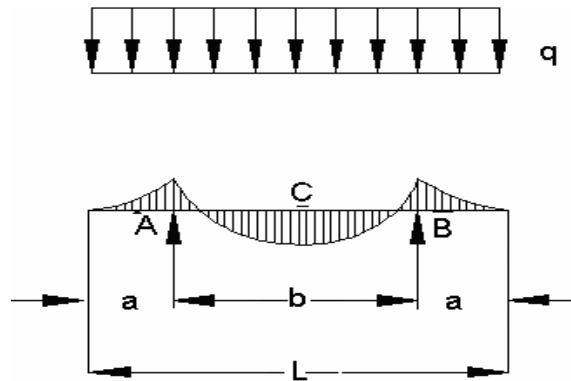


Figura 2.21. Momentos en Viga Horizontal.

$$M_A = M_B = -\frac{qa^2}{2} \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

$$M_c = -\frac{q}{8}(b^2 - 4a^2) \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

$$f_c = \frac{qb^2}{384EI}(5b^2 - 24a^2) \quad (\text{Ecuación 2.20})$$

Los valores de a y b son las posiciones a las cuales se encuentran los brazos de la compuerta, siendo a=75cm y b=250cm.

El valor de q está dado por la carga hidrostática por unidad de longitud, esto es:

$$q = 271687.4\text{N}/400 \text{ cm} = 679.2 \text{ N/cm}$$

$$E = 205939.6 \text{ Mpa} = 20593960\text{N/cm}^2$$

$$I_{(\text{HEB240})} = 11260\text{cm}^4$$

Reemplazando valores en la Ecuación 2.18 ,2.19 y 2.20 tenemos:

$$M_A = M_B = -\frac{679.2 \times (75)^2}{2} = 1910250\text{N.cm}$$

$$M_A = M_B = 19102.5 \text{ N-m}$$

$$M_c = -\frac{679.2}{8}(250^2 - 4(75)^2) = 3396000 \text{ N.cm}$$

$$M_c = 33960 \text{ N-m}$$

$$f_c = \frac{679.2(250)^2}{384(20593960)(11260)}(5(250)^2 - 24(75)^2)$$

$$f_c = 8.46 \times 10^{-2} \text{ cm} = 0.846 \text{ mm.}$$

Considerando una deflexión permitida 1:1000 para la viga:
se tiene que: $L_B/1000 = 2500\text{mm}/1000 = 2.5\text{mm}$. Esto quiere decir que la viga HEB 240 pasa al menos esta prueba.

Cabe mencionar que este valor disminuye para el caso real, puesto que la viga horizontal se encuentra sobre los perfiles TEE y la fuerza hidrostática se distribuye a lo largo de toda la pantalla

2.4. Vigas Verticales y Brazos de la Compuerta Segmento.

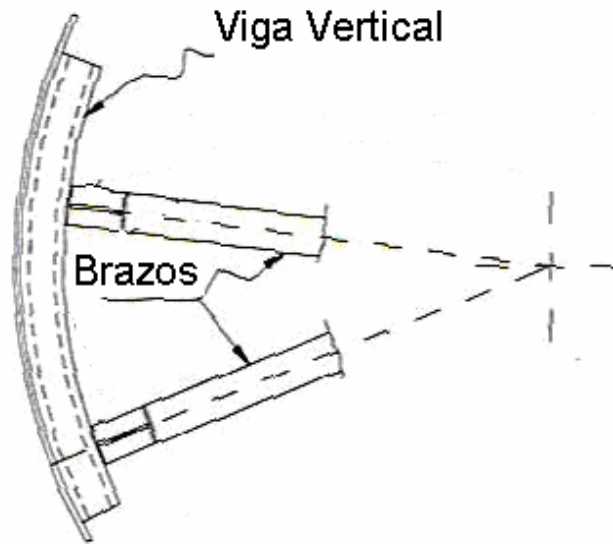


Figura 2.22. Vigas Verticales en la Compuerta.

2.4.1. Análisis de Vigas Verticales.

Para análisis de las vigas verticales se utiliza un modelo FEM. Este modelo está constituido por dos perfiles verticales y las tres vigas horizontales en base a las dimensiones reales de la compuerta, esto ayudará a estimar los esfuerzos en los perfiles curvos, para evitar errores de precisión, puesto que los perfiles no son

rectilíneos y que una vez curvados y apoyados su resistencia se incrementa.

Se asume que los perfiles TEE se encuentran apoyadas sobre 3 vigas horizontales espaciadas como se muestra en el diseño real y que la pantalla no existe aplicando una carga equivalente:

F/N = Fuerza Resultante de Empuje/ Perfiles verticales

$$F = 271687.4 \text{ N} / 6 = 45281.2 \text{ N (c/perfil)}$$

Esta carga se aplica uniformemente a lo largo del alma del perfil TEE y se aplica el método de cálculo diferencial de Kutta-Merson con Material ASTM A36 (Visual Nastran Desktop 2004).

A continuación se muestra el análisis esfuerzo y deformación de 2 vigas verticales.

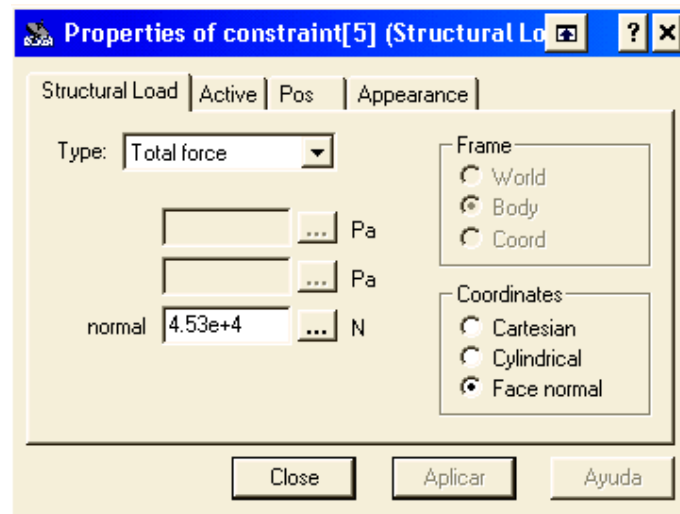


Figura 2.23. Fuerza aplicada a los perfiles TEE.

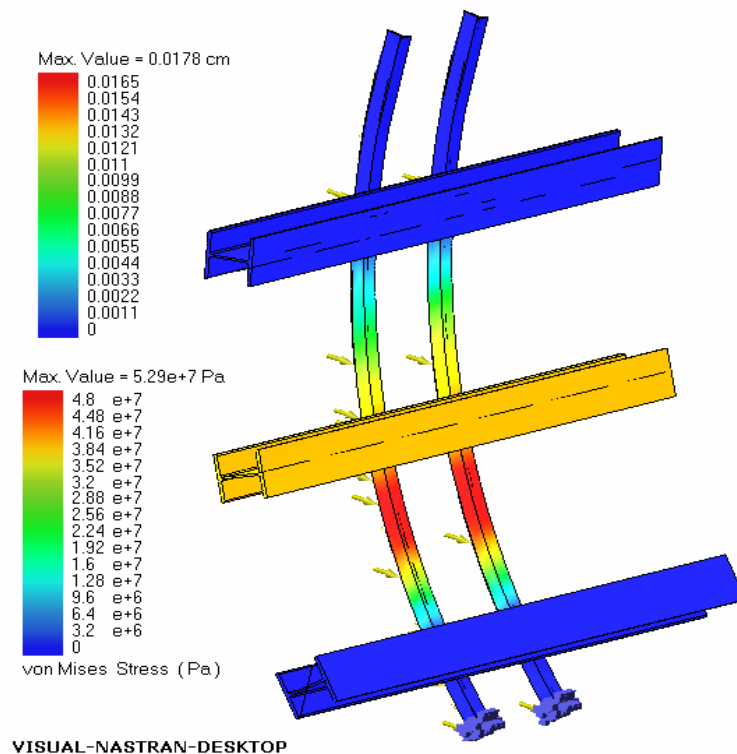


Figura 2.24. Análisis de vigas verticales.

Cabe señalar que la resistencia del conjunto se incrementaría aún más cuando los perfiles sean soldados a la pantalla de compuerta.

El esfuerzo de Von Mises = 52.9 MPa.

Comparando un esfuerzo admisible de flexión (tabla 6), tenemos:

$$\sigma_{adm} = 0.68 \times (248.1 \text{ MPa}) = 168.67 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{168.67 \text{ MPa}}{52.9 \text{ MPa}} = 3.18$$

2.4.2. Fuerzas axiales en brazos de Compuerta.

Para el cálculo de los brazos de la compuerta, se escoge el modelo de brazos inclinados dejando un espacio que sirva para ubicar el gato hidráulico de modo que no exista interferencia entre ellos.

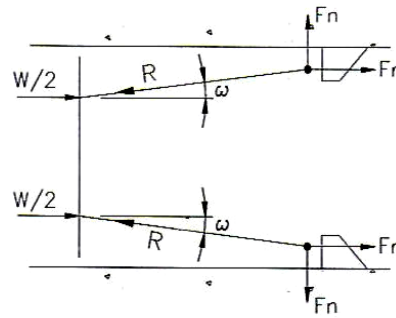


Figura 2.25. Fuerzas actuando en los Brazos.

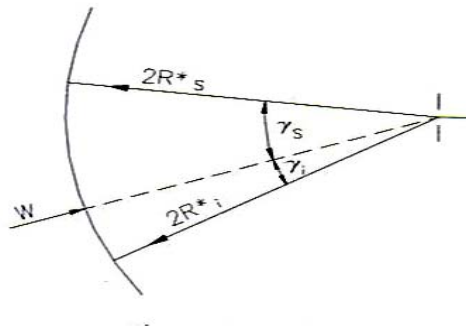


Figura 2.26. Fuerzas axiales en los Brazos.

La fuerza axial que actúa en los brazos de la compuerta (superior e inferior) se calcula como sigue:

$$R_s = \frac{R_s^*}{\cos \omega} = \frac{W}{2 \cos \omega} \cdot \frac{\text{sen} \gamma_i}{\text{sen}(\gamma_i + \gamma_s)} \quad (\text{Ecuación 2.21})$$

$$R_i = \frac{R_i^*}{\cos \omega} = \frac{W}{2 \cos \omega} \cdot \frac{\text{sen} \gamma_s}{\text{sen}(\gamma_i + \gamma_s)} \quad (\text{Ecuación 2.22})$$

Se asume una separación de 75cm desde la pared hacia el centro del brazo de la compuerta un radio de 420cm de curvatura de la compuerta sacado del diseño de forma.

Se proyecta el vector $W=271687.4\text{N}$ ($\beta = 27.83^\circ$) haciendo coincidir la línea de acción de la fuerza con el muñón. Éste último obtiene el resultado de $\gamma_i = 13^\circ$ y $\gamma_s = 18.2^\circ$ (gráficamente).

Luego:

$$\omega = \arctan (a/R) = \arctan (75/420) = 10.12^\circ$$

Por lo tanto reemplazando estos valores en la Ecuación 2.21 y en la 2.22 se obtiene:

$$\begin{aligned} R_i &= 59918.6\text{N}; & R_i^* &= 58989.9\text{N} \\ R_s &= 83198.6\text{N}; & R_s^* &= 81904.2\text{N} \end{aligned}$$

Para verificar la estabilidad de los brazos hacemos uso de la norma DIN 4114 que establece lo siguiente:

$$\omega_p \frac{F}{A} + 0.9 \frac{M}{W_c} \leq \sigma_{adm} \quad (\text{Ecuación 2.23})$$

Donde:

ω_p : coeficiente de Pandeo para el acero ASTM A36 (tabla 5-6 del libro compuertas hidráulicas)

F: fuerza de compresión (la más crítica: R_s *)

A: área de la sección transversal del perfil

W_c : módulo resistente de compresión

σ_{adm} : esfuerzo admisible de compresión ($\approx s.Sy$)

M: Momento flector dado por la siguiente figura 2.27.

Luego, de la tabla 6 se tiene $s=0.76$, por lo tanto el esfuerzo admisible de compresión es:

$$\sigma_{adm} = 0.76 \times 248.1 \text{ MPa} = 188.56 \text{ MPa}$$

Se selecciona un perfil HEB 240 con $A=106 \times 10^2 \text{ mm}^2$; $I_x=103,1 \text{ mm}^4$; $I_z=60.8 \text{ mm}^4$; y $W_c=498.4 \times 10^3 \text{ mm}^3$.

Utilizando la tabla (5-6) del libro compuertas hidráulicas de Ferreira segunda edición, se procede a calcular el

coeficiente ω_p con el valor de la constante λ que depende de la posición de trabajo de la viga que forma el brazo. El índice de esbeltez se lo calcula con i_z de la siguiente manera

$$\lambda = c/i_z \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

Donde c es la distancia libre de los brazos (acople de pantalla - muñón de compuerta), esto es $c \approx 3900\text{mm}$; luego:

$$\lambda = 3900/60.8 = 64.14$$

Tabla 7: Coeficiente ω_p

λ	W									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
30	1,08	1,08	1,09	1,05	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13
40	1,14	1,14	1,14	1,10	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
50	1,21	1,21	1,22	1,16	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29
60	1,30	1,30	1,31	1,23	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40
70	1,41	1,41	1,42	1,33	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53
80	1,55	1,55	1,56	1,45	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69
90	1,71	1,71	1,73	1,59	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88
100	1,90	1,90	1,92	1,76	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09

Tomada del Libro de Compuertas hidráulicas por Paulo Cesar Ferreira Erbish; 2da Edición.

Entonces:

$$\omega_p = 1.34$$

Luego con la norma DIN 4114 se procede a comparar el valor i_x .

$$i_x > c/40$$

$$i_x > 3900/40 = 97.5 > 60.8$$

Para determinar el momento máximo en los brazos de la compuerta se hace uso de la figura (c) del libro de compuertas hidráulicas de Ferreira.

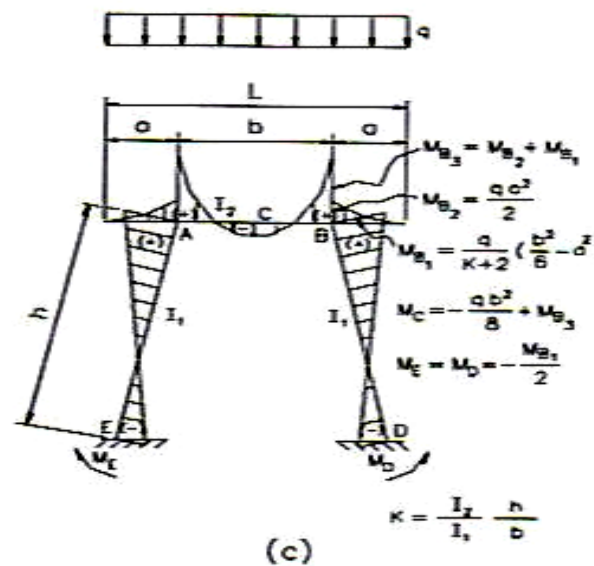


Figura 2.27. Momentos en los Brazos.

Como se puede observar, el momento máximo en el brazo es:

$$M_{Bl} = \frac{q}{k+2} \left(\frac{b^2}{6} - a^2 \right) \quad (\text{Ecuación 2.25})$$

Siendo:

$$K = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{c}{b} = 1 \times \frac{3900}{2500} = 1.56 \quad (\text{Ecuación 2.26})$$

$$M_{Bl} = \frac{67922 \text{ N/m}}{1.56 + 2} \left(\frac{(2.5 \text{ m})^2}{6} - (0.75 \text{ m})^2 \right)$$

$$M_{BL} = 9730.5 \text{ N-m}$$

Reemplazando valores con $F=R_s^*=81904.2 \text{ N}$ en la ecuación 2.23, se tiene que:

$$1.34 \frac{81904.2}{0.0106} + 0.9 \frac{9730.5}{0.000498} \leq \sigma_{adm}$$

$$27.94 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 188.56 \text{ MPa}$$

Por lo tanto el perfil HEB 240 cumple con las condiciones de esfuerzo a las cuales estará sometido los brazos de la compuerta.

CAPITULO 3

3. DISEÑO DE ELEMENTOS ARTICULADOS DE LA COMPUERTA.

Para este análisis se hace uso de los valores más críticos de los análisis iniciales:

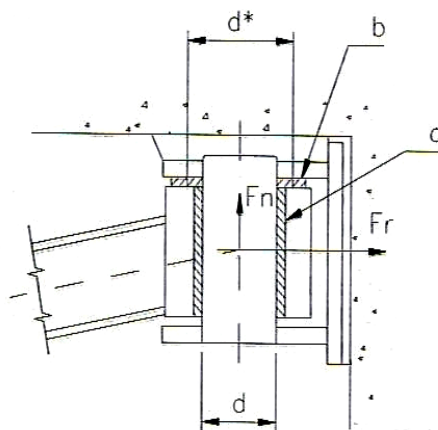


Figura 3.0 Fuerzas actuando en el muñón de la Compuerta.

T' y T'' : son los valores máximos y mínimos del análisis estático multiplicado por un factor de 1.5 y se supone que se aplica en una sola dirección φ , estos valores son:

$T' = 228077 \text{ N}$. Valor máximo "Compuerta cerrada"

$T'' = 33535 \text{ N}$. Valor mínimo "Compuerta abierta"

3.1. Carga transmitida al Muñón de Compuerta.

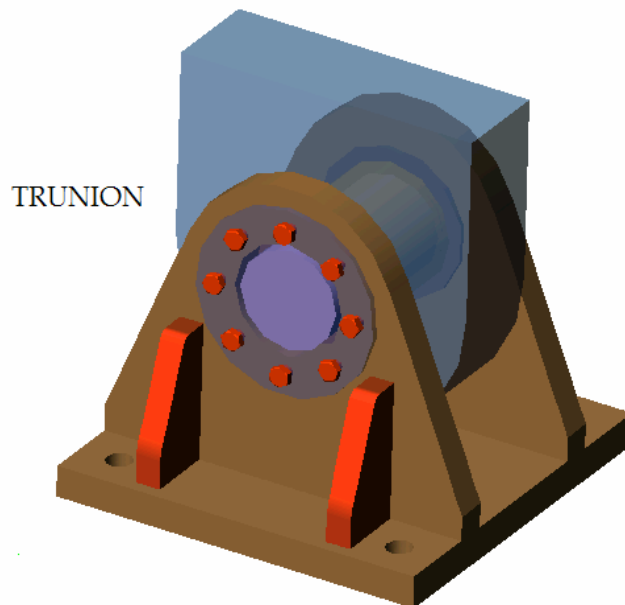


Figura 3.1. Muñón de la Compuerta.

Siendo:

$$F_n = R \cdot \sin(\omega) \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$F_r = R \cdot \cos(\omega) \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Luego;

$$R = \frac{W}{2 \cdot \cos(\omega)} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

A su vez se tiene que:

$$F_n = \frac{W}{2} \tan(\omega) \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$F_r = \frac{W}{2} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Si reemplazan los valores $W = 271687.4 \text{ N}$, $\omega = 10.12^\circ$ y con una separación de 75cm desde la pared hacia el centro de la compuerta, se tiene que:

$$R = 137990.4 \text{ N}$$

$$F_n = 24245.96 \text{ N}$$

$$F_r = 135843.7 \text{ N}$$

3.2. Eje del muñón de Compuerta.

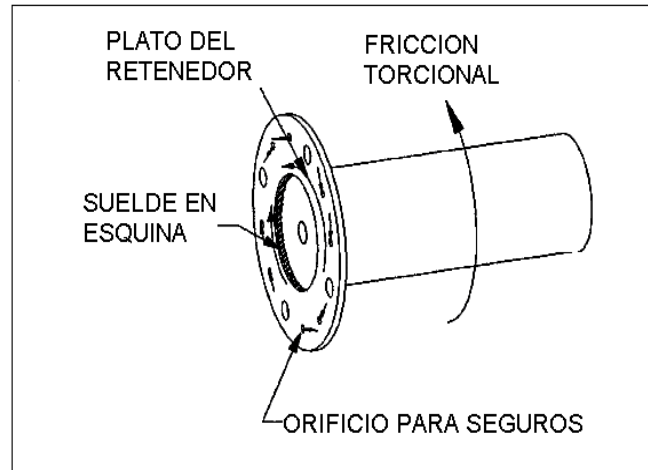


Figura 3.2. Eje del muñón de la Compuerta

Utilizando las ecuaciones de Resistencia a la fatiga y los factores que modifican al mismo, se puede calcular el factor de seguridad del elemento para varios diámetros.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot S_e' \text{ (Ecuación 3.6)}$$

S_e : Límite de Resistencia a la fatiga corregido.

S_e' : Lim. de Resist. a la Fatiga aparente : $S_e' = 0.504 S_{ut}$

K_a : Factor de Superficie: $K_a = a S_{ut}^b$, donde $a=4.51$ y $b=-0.265$, Para maquinado o estirado en frío.

K_b : Factor de tamaño: $K_b = 0.6$, para flexión.

K_c : Factor de Carga (flexión pura): $K_c = 1$

K_d : Factor de temperatura $K_d = 1$

El factor de Seguridad viene dado por:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Donde:

σ_a es el esfuerzo alternante e igual a:

$$(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$$

σ_m es el esfuerzo medio y viene dado por:

$$(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$$

Si se toma como material base el AISI 1018 / Acero de transmisión

con $S_{ut} = 400$ MPa, $S_y = 247.94$ MPa entonces se tiene que:

$$S_e' = 201.52 \text{ MPa}$$

Tomando como:

$$P_{\max} = 228077 \text{ N} \quad \text{y} \quad P_{\min} = 33535 \text{ N}$$

Entonces tenemos:

$$S_e = 111.46 \text{ Mpa}$$

A continuación se muestra una tabla 8 con diámetros diferentes con un factor de seguridad determinado:

Tabla 8: Diseño del eje de Muñón de Compuerta

DETALLE DEL EJE DEL MUÑÓN DE COMPUERTA						
Sut (Mpa)	400	AISI-1018	$M_x = \frac{P_x \cdot L}{4}$	Factos de Superficie Ka	0,92	
Se' (N/cm2)	20160			a	4,51	
Se (N/cm2)	11149,9		$\sigma' = \frac{M_x \cdot c}{I}$	b	-0,265	
Pmax (N)	228077			L (mm)	200	
Pmin (N)	33536					
diametro d (mm)	$I = \frac{\pi d^4}{64}$ (cm4)	$\sigma_{\max}$ (N/cm2)	$\sigma_{\min}$ (N/cm2)	σ_a (N/cm2)	σ_m (N/cm2)	$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}$ F.seguridad
60	63,62	53777	7907	22935	30842	1
70	117,86	33865	4980	14443	19423	1,3
80	201,06	22687	3336	9676	13012	1,5
90	322,06	15934	2343	6796	9138	1,9
100	490,87	11616	1708	4954	6662	2,4
120	1017,88	6722	988	2867	3855	4,0
130	1401,98	5287	777	2255	3032	5,0
140	1885,74	4233	622	1805	2428	6,2

Tabla elaborada en Excel.

Es decir, que con un eje de muñón de apenas 70mm cumple las expectativas de resistencia. Sin embargo la tabla 9 (NBR 8883-4.8.8.1) recomienda ciertos factores de seguridad para elementos mecánicos.

Tabla 9: Factores Parciales de seguridad

	Factor parcial de sugerencia		Factor de combinación		
	acción	resistencia	Caso de carga		
	γ_F	γ_M	Normal	Ocasional	Excepcional
Elementos estructurales	1,35	1,1	1,0	0,9	0,8
Elementos mecánicos	1,35	1,5	1,0	0,9	0,8

Tomada de la Norma NBR 8883-4.8.8.1

En consecuencia se toma un factor de 1.9 es decir:

$$\Phi=90\text{mm.}$$

A continuación se evalúa la condición de la deflexión δ en determinado eje asumiendo el modelo de viga con apoyos simples y carga en el centro:

$$\delta_{max} = \frac{Pl^3}{48EI} \text{ (Ecuación 3.8)}$$

Donde: $E = 205939.6 \text{ MPa} = 20.59 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$; y la inercia para una barra circular $I = 0.05d^4$

$$\delta_{\max} = \frac{228077 (20)^3}{48 (20.59 \times 10^6) (0.05 d^4)} (\text{cm})$$

De aquí que para un diámetro $d=9\text{cm}$ se tiene:

$$\delta_{\max} = 0.0056 \text{ cm} = 0.056 \text{ mm.}$$

Se puede notar que la deflexión es muy pequeña en el eje, por lo tanto el diámetro de 9 cm. cumple con el diseño.

Ahora se calcula el esfuerzo cortante en el mismo a partir de la ecuación:

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

$$V = T'/2 = 228077 \text{ N} / 2 = 114038.5 \text{ N}$$

$$A = \pi d^2 / 4 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$d=9\text{cm}$$

$$A=63.62 \text{ cm}^2$$

El material a utilizar es un AISI 1018 - Acero de transmisión; luego tenemos:

$$\tau = \frac{4(114038.5\text{N})}{3(63.62\text{cm}^2)} = 2390 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Considerando la tabla 10 del manual de compuertas hidráulicas para estimar el esfuerzo cortante admisible tenemos:

Tabla 10: Coeficiente para cálculo de esfuerzos Admisibles para Elementos Mecánicos

Esfuerzo	Caso de Carga		
	Normal	Ocasional	Excepcional
Tracción y Compresión	0,4	0,5	0,8
Cortante	0,23	0,29	0,46

Tomada de la Norma NBR 8883-4.8.7.1

$$\tau_{\text{adm}} = 0.23S_y \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

$$\tau_{\text{adm}} = 0.23 \times 24794\text{N/cm}^2 = 5702.62 \text{ N/cm}^2 = 57.0.2 \text{ MPa}$$

De modo que el factor de seguridad es:

$$\eta = \frac{\tau_{adm}}{\tau_{cal}} \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

$$\eta = 2.4$$

Por lo tanto el eje del muñón de la compuerta cumple con las expectativas de resistencia al cortante.

3.3. Ojal del muñón.

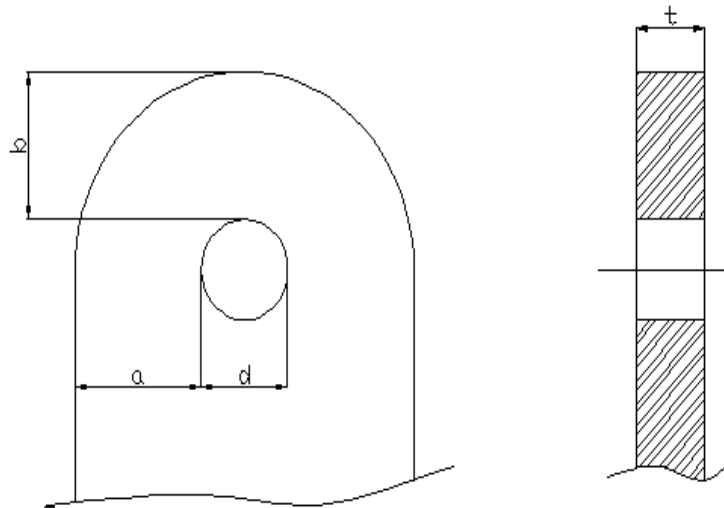


Figura 3.3. Ojal del muñón de la Compuerta.

Se procede a calcular los esfuerzos en el metal base utilizando la norma NBR 8833- 4.10.1 que estipula lo siguiente:

$$S = \frac{F}{2.at} \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

Donde S es el esfuerzo debido al cortante en el ojal, F es la fuerza aplicada en los dos ojales del muñón

$$F = 228077 \text{ N}$$

t: espesor del ojal

d: diámetro del eje;

a y b, las medidas mostradas en la figura.

Siendo:

$$b \geq a$$

$$a \geq 0.4 d; \text{ según la norma}$$

Si $d = 9\text{cm}$; $a \geq 3.6\text{cm}$ por lo tanto se toma $b = a = 4\text{cm}$; y $S_y = 248.1\text{ MPa}$ y un factor $s = 0.577$ (libro de Diseño de Shigley sexta edición, Energía de distorsión), entonces tenemos:

$$S = s \cdot S_y = 143.16\text{ MPa} = 14316\text{ N/cm}^2$$

Despejando t de la Ecuación 3.12 se obtiene:

$$t = \frac{F}{2a \cdot S}$$

$$t = \frac{228077}{2 \cdot (4)(14316)} = 2.0\text{ cm} \cong 20\text{ mm}$$

Es decir el espesor mínimo de los ocales deberá ser 20mm ($t \geq 20\text{mm}$); sin embargo por factores de corrosión se ha de tomar:

$$t \approx 25\text{mm}$$

3.4. Bocines para Muñones de Compuerta

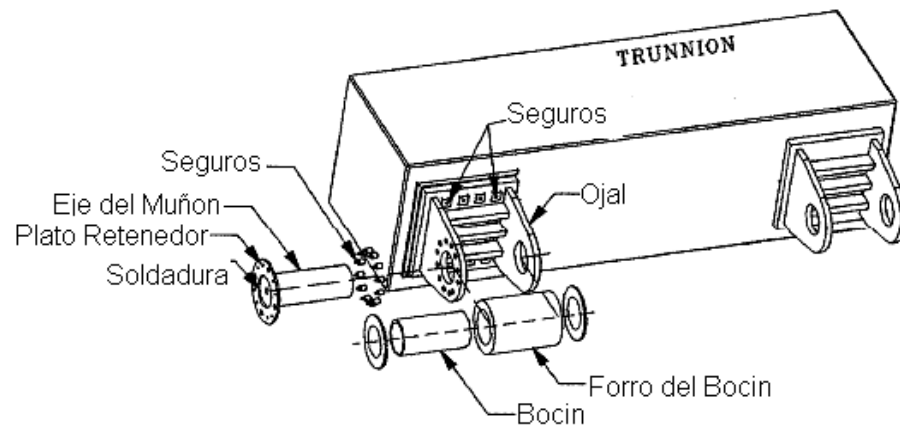


Figura 3.4. Bocines del muñón de la Compuerta.

Para el cálculo de los bocines cilíndricos se hace uso de la ecuación establecida por la norma NBR 8883-4.10.2.

$$P_d = \frac{F}{d.L_b} \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

Donde:

P_d es la presión diametral ejercida sobre el bocín (esfuerzo de compresión diametral).

F: fuerza de dimensionamiento del bocín

d: diámetro interno del bocín $d = 9\text{cm}$

L_b : Longitud efectiva del bocín

Teniendo a $F = T = 228077 \text{ N}$; T es el valor calculado en la “compuerta cerrada”:

$$F=228077 \text{ N}$$

Se reemplazan valores y se tiene que:

$$P_d = \frac{228077}{9.(20)} = 1167.1 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 11.67 \text{ MPa}$$

Luego se procede a calcular el factor de seguridad del elemento en base a la norma NBR 8883-4.10.2.1.1.2 que establece como esfuerzo admisible de compresión:

$$\sigma_{\text{adm}}=15\text{MPa (Materiales no ferrosos)}$$

Luego:

$$\eta = \frac{15}{11.67} = 1.3$$

Ahora, definiremos el espesor de pared del bocín con la tabla 11 del manual de compuertas hidráulicas.

Tabla 11: Espesores de paredes de Bocines

Diámetro interior(mm)	Espesor de la pared (mm)
Inferiores 40	5
De 40 a 50	6
De 50 a 65	7
De 65 a 75	8
De 75 a 100	10
De 100 a 125	12

Tomada del Libro de Compuertas hidráulicas por Paulo Cesar Ferreira Erbish 2da Edición.

Siendo $d=90\text{mm}$, tomamos un espesor de 10mm , entonces tenemos las siguientes características para el bocín:

Material: Bronce Fosforoso SAE 40 – calidad BS1400 LG-2

Diámetro interior: 90mm

Espesor de pared del bocín: 10mm

Diámetro exterior: 110mm (Aprox.5")

Longitud de bocín: 200mm Aproximadamente.

Para poder apreciar la forma que tendrá el muñón de compuerta, se ha realizado un esquema basado en el Libro de compuertas hidráulicas de Ferreira Erbisti, segunda edición.

CAPITULO 4

4. Diseño de los Elementos de Sujeción de la Compuerta.

Para culminar con el diseño de la compuerta se deberán seleccionar los pernos para acoplar los brazos a las vigas horizontales de la compuerta, así también como ver las recomendaciones de la soldadura para la sujeción de la pantalla con los rigirizantes y en general todas las piezas soldadas, también diseñar las guías que permitirán que la compuerta no se desvíe de su posición de funcionamiento al momento de abrirse o cerrarse.

4.1. Estimación Geométrica de las Guías de Compuertas

Para estimar la forma geométrica de las guías laterales se analiza el recorrido de la compuerta desde su posición de descanso hasta el punto máximo de izaje, esto nos permite determinar la longitud que debe tener las dos guías laterales y además el radio de curvatura que seguirán las ruedas de apoyo de la compuerta, estas medidas se toman del diseño de forma de la compuerta tal como se muestra en la figura 4.0.

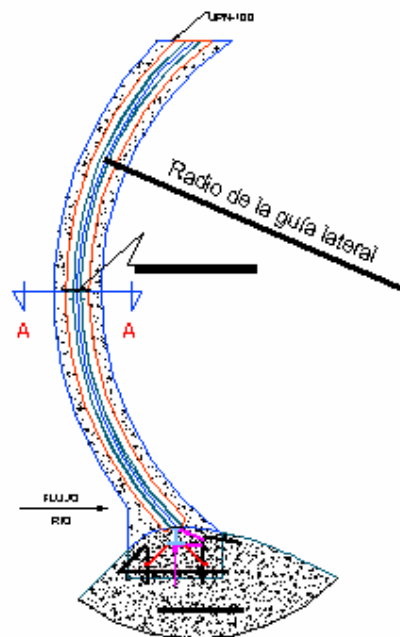


Figura 4.0. Guía lateral de la compuerta

La norma NBR nos da las siguientes recomendaciones en las guías laterales:

- Las guías laterales y la viga umbral deberán ser apoyadas continuamente en el concreto para evitar deformaciones en el momento en que la compuerta comience a deslizarse.
- La dureza superficial del material de las guías laterales debe ser mayor que el material de las ruedas, para que el desgaste producido sea en las ruedas que son más fáciles de cambiar y no en las guías.
- El material por donde va a deslizar el sello lateral y donde descansara el sello inferior necesariamente tiene que ser de acero inoxidable.
- El valor mínimo de la resistencia característica del concreto a la compresión debe ser de 18.0 MPa. Valores inferiores pueden ser usados cuando sea justificado por el ingeniero civil.

- En el caso donde la superficie de concreto encuentra soportando la presión de la compuerta en la parte inferior tal como se muestra la figura 4.1. Se deben tomar en cuenta las medidas del concreto reforzado para evitar deformación en la viga debido a la presión.

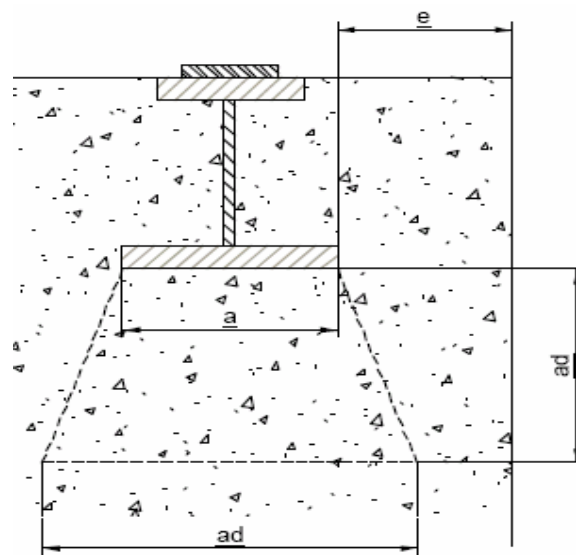


Figura 4.1 Viga Mensula

Siendo:

$$ad = 3.a \text{ en caso de } e = a \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$ad = a + 2.e \text{ en caso de } e < a \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

NBR 8883 4.9.2.9. Valor mínimo de $e = 12\text{cm}$

Entonces tenemos:

$$ad = 36\text{cm}$$

Por lo tanto, las bases del concreto reforzado en donde se colocara la solera o vigas umbrales, deben ser $\leq 36\text{cm}$.

4.2. Cálculo de pernos de sujeción de la pantalla.

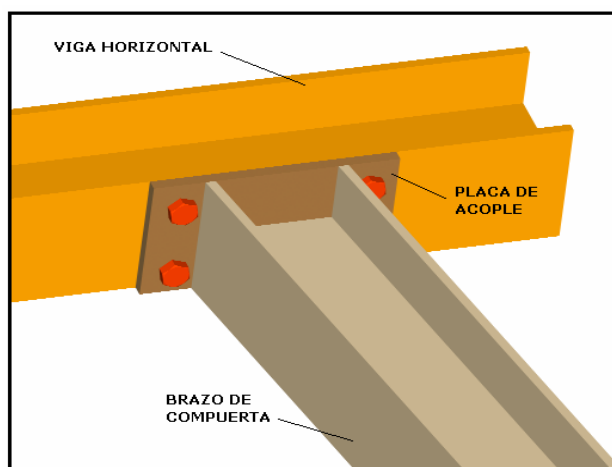


Figura 4.2 Pernos de sujeción.

Para el diseño de los pernos de sujeción de la pantalla, se selecciona pernos de diámetro $\Phi=24\text{mm}$ con un diámetro útil de trabajo igual a $\phi_u=21.33\text{mm}$ (Tabla 12 de pernos de diámetros

normalizados) y se procede a calcular el número mínimo de pernos de esta dimensión:

Tabla 12: Diámetro de pernos normalizados.

SERIE DE PASO BASTO			
DIÁMETRO MAYOR NOMINAL	PASO	ÁREA DE ESFUERZO DE TENSION	ÁREA AL DIÁMETRO MENOR
d	p	At	Ar
1,6	0,35	1,27	1,07
2	0,40	2,07	1,79
2,5	0,45	3,39	2,98
3	0,50	5,03	4,47
3,5	0,60	6,78	6,00
4	0,70	8,78	7,75
5	0,80	14,2	12,70
6	1,00	20,1	17,90
8	1,25	36,6	32,80
10	1,50	58	52,30
12	1,75	84,3	76,30
14	2,00	115	104,00
16	2,00	157	144,00
20	2,50	245	225,00
24	3,00	353	324,00
30	3,50	561	519,00
36	4,00	817	759,00

Las ecuaciones y datos utilizados para la elaboración de esta tabla se han obtenido de la Norma ANSI B.1.1-1974 y B18.3,1-1978. El diámetro menor se determinó con la ecuación $d_r = d - 1,226869p$, y el diámetro de paso de a partir de $d_m = d - 0,649p$. El valor medio del diámetro de paso y del diámetro menor se utilizaron para evaluar el área de esfuerzo de tensión.

Sacado del Libro de Diseño en Ingeniería Mecánica por Joseph
Edgard Shigley –Sexta Edición.

Para este cálculo se toma la ecuación (8-25) del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley sexta edición, la cual establece el valor de la precarga para pernos reutilizables.

$$F_i = 0.75 F_p \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde:

F_i : es la precarga para pernos para condiciones estáticas o de fatiga.

F_p : es la carga límite obtenida de la siguiente ecuación:

$$F_p = A_t \cdot S_p \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde:

A_t : Es el área de esfuerzo de tensión (tabla 8-1 Libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Pág.369); $A_t = 3.53\text{cm}^2$.

S_p : Resistencia límite del perno según en grado.

Para el cálculo de F_p se selecciona un perno grado 8.8 con resistencia:

$$S_p = 600\text{Mpa} = 60000\text{N/cm}^2$$

Luego:

$$F_p = (3.52 \text{ cm}^2)(60000 \text{ N/cm}^2) = 211200 \text{ N (carga límite del perno)}$$

Siendo así:

$$F_i = 0.75 (211200 \text{ N}) = 158400 \text{ N.}$$

El número de pernos viene dado por:

$$N = \frac{C \cdot \eta \cdot F}{S_p \cdot A_t - F_i} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

C: constante de unión entre las placas a unir.

η : es el factor de seguridad adoptado por el diseñador.

F es la fuerza perpendicular a la placa, esto es, el valor de la fuerza axial en el brazo: $R = 137990.4 \text{ N}$.

La constante de unión (rigidez equivalente en serie) se la calcula como:

$$C = \frac{k_b}{K_b + K_m} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Donde K_i es la rigidez de los materiales a unir. Luego:

La rigidez del perno seleccionado es:

$$K_b = \frac{A.E}{l_g} = \pi \frac{d^2}{4} \cdot \frac{8273700 \text{ N/cm}^2}{(1.7 \text{ cm} + 2 \text{ cm})} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

El módulo de elasticidad $E = 12 \text{ Mpsi} = 82737 \text{ MPa}$ corresponde a hierro fundido número 25 ASTM para pernos; l_g es la longitud de agarre del perno; luego, si reemplazamos $d = 24 \text{ mm} = 2.4 \text{ cm}$, se tiene:

$$K_b = 10.12 \times 10^6 \text{ N/cm}.$$

El valor de K_m . se lo obtiene a partir de la ecuación 8-16 del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Pág.385) y se calcula como:

$$K_m = \frac{0.577 \pi E d}{2 \times \ln \left(5 \frac{0.577 l_g + 0.5 d}{0.577 l_g + 2.5 d} \right)} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Donde d corresponde al diámetro nominal del perno (24mm=2.4cm).

Reemplazando valores, tenemos:

$$K_m = 25.08 \times 10^6 \text{ N/cm}$$

Siendo:

$$C = \frac{k_b}{K_b + K_m} = \frac{10.12}{10.12 + 25.08} = 0.386 \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Se reemplazan valores en la ecuación 4.5 para el cálculo del número de pernos asumiendo un factor de seguridad de 2; se tiene que:

$$N = 1.99 \text{ pernos}$$

Es decir, que con tan solo dos pernos se podría asegurar la compuerta. Sin embargo el sistema con dos pernos no es estable por lo tanto se colocarán 4 de M24X60MM. Note que el diámetro no se lo reduce y se aumenta el número de pernos, puesto que los pernos van a estar sometidos a condiciones adversas de corrosión.

4.3. Uniones soldadas.

Las juntas a tope de piezas con diferencias de espesores >3mm se biselarán en proporción de 1:3 según NBR-8883.

En general, los procedimientos de soldadura y requerimientos están sujetos a los códigos ASME sección VII –DIV 2; ANSI –AWS A5-18-93, AWS D1.1 y AWS A2.4. Las soldaduras deberán cumplir la siguiente tabla:

Tabla 11. Ensayos en uniones soldadas

Posición	Tipo	Localización de Junta	Ensayos
Soldadura de tope o angular	Penetración Total	Todas las estrutruras	100% radiografia o ultrasonido 100% tinta penetrante o tarticulas magneticas 100% inspeccion visual
		Penetración	Ojales de izamiento
	Vigas de compuertas y nervios		100% inspeccion visual
	Detalles de Estructura	25% tinta penetrante o particulas magneticas	
		100% inspeccion visual	
	Soldadura de filete	Ojales de izamiento Vigas de compuertas y nervios	100% tinta penetrante o particulas magneticas
			100% inspeccion visual
		Detalles de Estructura	10% tinta penetrante o particulas magneticas
100% inspeccion visual			
Juntas bimetálicas			100% tinta penetrante y particulas magneticas
Juntas que requieren rigidez			100% inspeccion visual

Tomada de la Norma NBR 8883-5.4.5

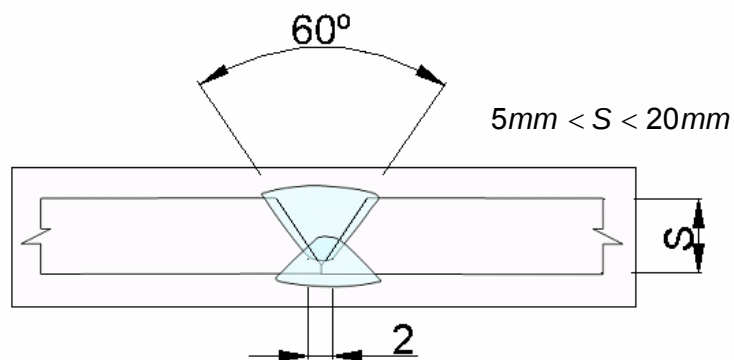


Figura 4.3. Detalle de la Unión Soldada

En el control de la soldadura se debe evaluar lo siguiente:

- La presencia de fisuras es inaceptable independiente de tamaño y localización.
- Deberá existir fusión completa entre pases y entre el metal base y el metal de aporte
- Todos los cráteres deberán ser llenados para proveer el tamaño de soldadura especificado, excepto para los finales de la soldadura de filete intermitente fuera de su longitud efectiva.

- El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede ser menor que el tamaño nominal especificado (L) sin corrección para los siguientes valores

L, tamaño de soldadura nominal (mm)	U, permisible decremento de L (mm)
5	2
6	2.5
8	3

- Para materiales de espesor menor a 25mm, las mordeduras no deben exceder el 1mm, excepto para una longitud acumulada de 50mm en 300mm de soldadura continua donde podrá ser de 2mm. Para materiales de espesor igual o mayor a 25mm las mordeduras no deberá exceder los 2mm para cualquier longitud de soldadura.
- No deberán existir poros visibles en juntas de penetración completa en la zona de acción de los esfuerzos calculados. En todos los otros tipos de juntas y soldadura de filete, la suma de los poros visibles de 1mm o mayores de diámetro no deberán exceder los 10mm en 25mm de soldadura y no

deberán exceder los 20mm en 300mm de longitud de soldadura.

4.4.

4.4. Tratamientos de Superficies y Pintado.

Los daños de la corrosión ocurrirán en un cierto plazo y pueden deteriorar seriamente la capacidad estructural y operacional de la compuerta. Para reducir al mínimo los problemas estructurales futuros, los altos costos de mantenimiento y la rehabilitación de partes oxidadas en la compuerta o de los elementos que permiten que esta se mantenga en operación, se debe considerar en el diseño la resistencia a la corrosión que debe tener la compuerta y sus partes.

Las compuertas son vulnerables a la corrosión, por grietas, por picaduras atmosférica y mecánica.

Todas las superficies a ser pintadas deberán ser debidamente limpias y exentas de costras de laminación, basura, herrumbre, betunes y otras sustancias extrañas, de tal forma que se pueda obtener una superficie aseada y seca. Todos los cantos vivos

deberán ser eliminados con esmeril o por otros medios. Los tipos de limpieza obedecerán a las normas del SSPC y los aspectos de las superficies limpias corresponderán a la norma sueca SIS 05 5900.

Tabla 14. Grado de preparación de la superficie.

PREPARACION DE SUPERFICIE	
Tipo de Preparacion	Preparación
	Norma Sueca SIS-05-5900-1967
a) Con herramientas mecanicas	
* limpieza manual	St 2
* limpieza mecanica	St 3
b) Con arranque abrasivo	
* rapido	Sa 1
* comercial	Sa 2
* metal casi blanco	Sa 2 1/2
* metal blanco	Sa 3

Tomado del Libro de Compuertas Hidráulicas de Paulo Cesar Ferreira Erbisti, 2da Edición.

- **Limpieza Manual – Estándar St 2.-** Raspar con una espátula metálica dura y escobillando cuidadosamente, a fin de remover las escamas en el metal tales como: óxidos y partículas extrañas.

Después de la limpieza la superficie debe tener un suave brillo metálico.

- **Limpieza Mecánica al Manual – Estándar St 3.-** Raspando y escobillando con cepillo de acero, de modo cuidadoso.

Después de la limpieza, la superficie debe presentar un pronunciado brillo metálico.

- **Pulido Ligero con Abrasivo (Brushoff) – Estándar Sa 1.-**

La pulidora se mueve rápidamente sobre la superficie de acero, afín de remover las escamas en el metal tales como: óxidos y partículas extrañas.

- **Pulido Abrasivo Comercial – Estándar Sa 2.-** Puliendo cuidadosamente a fin de remover prácticamente toda el óxido y partículas extrañas. En caso de que una superficie posea cavidades (picaduras), apenas ligeros residuos pueden ser encontrados no junto a la cavidad; sin embargo dos tercios de un área de una pulgada cuadrada deben estar libres de residuos visibles.

Después del tratamiento la superficie debe presentar una coloración zinc.

➤ **Pulido Abrasivo al Metal Casi Blanco – Estándar Sa 2**

½.- La pulidora se mantiene por un tiempo suficiente para asegurar una remoción de láminas de herrumbre y partículas extrañas, de tal modo que apenas posea apariencia leves de sombra, libre de decoloración en superficies. Las superficies difíciles de pulir deben utilizarse sand blasting.

Después de la limpieza el 95 % de un área de una pulgada cuadrada debe estar limpia de residuos y la superficie debe presentar una coloración zinc claro.

➤ **Pulido Abrasivo al Metal Blanco – Estándar Sa 3.-**

Pulimento abrasivo perfecto, con remoción total de escamas de óxidos y partículas extrañas.

Después de la limpieza, la superficie debe presentar un color gris continuo y uniforme, sin rayas o sombras.

De una forma general, la durabilidad de un sistema de protección anticorrosivo es directamente proporcional al espesor final de la película seca del mismo. El número de capas serán aplicadas

dependiendo de la aspereza de la superficie a ser protegida, la espesura y dureza de cada tipo de tinta y del grado de agresividad del medio a que la compuerta estará sometida

En el caso específico de las superficies metálicas sometidas al pulido metal blanco, en los que se producido profundidades con valores entre 40 y 50 micrómetros. Por lo tanto, un espesor final de la película protectora debe ser de 120 a 150 micrómetros.

Entre los tipos de tintas comúnmente utilizadas para la proyección anticorrosiva de equipos hidromecánicos, se destacan las siguientes:

- **Pinturas con base en fosfato de zinc en combinación con resina epoxica.-** Da espesores de película de 60 a 70 micrómetros, con gran resistencia a esfuerzos mecánicos y proporciona protección catódica, se la utiliza como pintura de fondo.
- **Pintura con base de resina epoxica de alta resistencia.-** Da una película impermeable de gran resistencia mecánica y gran adherencia metálica. Resistente al agua dulce y

salada y permite una aplicación en capas con espesor elevado cercano a 200 micrómetros. La película seca presenta una superficie muy dura, con aspectos ligeramente brillantes. No deben ser aplicadas en reservorios y sistemas de agua potable.

- **Pintura con de resina poliuretano acrílica.-** Presenta una película dura, con una resistencia al agua y a la intemperie. La espesura de la película es pequeña entre 50 y 75 micrómetros, seca rápido al ambiente y existe en varios colores.

De acuerdo con exposiciones de equipos expuestos en agua y a la intemperie, los siguientes esquemas de protección pueden ser recomendados:

- a) Equipos permanentemente sumergidos o temporalmente sumergidos y expuestos a la intemperie:

- Limpieza por pulido abrasivo al metal casi blanco – Sa 2 $\frac{1}{2}$.

- Aplicación de una capa de pintura con base en polvo de zinc en combinación con resina epoxica, con espesores de película seca de 60/70 micrómetros.
- Aplicación de dos capas de pintura de acabado a base de resina epoxica con espesores de película seca de cada capa de 150 micrómetros.

b) Equipos no sumergidos en agua y expuestos a la intemperie:

- Limpieza mecánica con cepillo de aceros o escobas rotativas (Estándar St 3).
- Aplicación de dos capas de pintura de fondo con fosfato de zinc en combinación con resina epoxica, espesores de película seca de 60 por cada capa.
- Aplicación de dos capas de pintura de acabado con resina poliuretano acrílico con espesores de cada capa de 60 micrómetros.

CAPITULO 5

5 ANÁLISIS DE COSTO.

DESCRIPCION	CANTIDAD	Masa un. (Kg.)	Precio un. / Kg.	TOTAL USD \$
-------------	----------	----------------	------------------	--------------

MATERIALES: COMPUERTA				
Pantalla: 2440x1220x10.	5	233,68	0,87	1.016,50
Angulos Elaborados: 150x75x9mm (L=3.7 metros)	2	56,46	0,87	98,25
Verticales o Costillas: PERFIL HEB-100 (L=3.7 metros)	7	75,48	0,87	459,67
Vigas Horizontales : HEB-240 (L=6 metros)	6	499,20	0,87	2.605,82
Panchas: Refuerzos Laterales de Compuerta	2	125,60	0,87	218,54
Nervios Superiores de Pantallas	12	1,12	0,87	11,69
Sellos Tipo Jota Musical (Laterales) (L=3.7 metros)	2	-	-	414,40
Sello Inferior (Recto) (L=4 metros)	1	-	-	224,00
Pernos Inox. M12x25MM	179	-	-	134,25
Rudas De Compuerta e=15MM	6	-	-	878,64
SUBTOTAL				6.061,77

MATERIALES: GUIAS Y UMBRALES				
Guías: UPN100 (L=6 metros)	2	63,60	0,87	110,66
Viga Umbral: PERFIL HEB-100 (L=4,2 metros)	1	85,68	0,87	74,54
Platina de Acero Inox: AISI 304-1,22x2,44x6	1	140,21	3,59	503,34
SUBTOTAL				688,55

MATERIALES: TRUNIONS				
Trunions	4	-	-	2.240,00
SUBTOTAL				2.240,00

GASTOS GENERALES				
Insumos de soldadura	-	-	-	2.000,00
Consumo de energia electrica	-	-	-	750,00
Mano de obra por fabricacion	-	-	-	2.000,00
Montaje de obras mecanicas	-	-	-	5.000,00
Trabajos de sand blasting y pintura(100 m2)	-	-	-	1.800,00
SUBTOTAL				11.550,00

SISTEMA HIDRAULICA			
Sistema oleo-hidraulico para cada compuerta, suministro e instalacion	-	-	25.289,60
SUBTOTAL			25.289,60
Costo Total de la Obra			TOTAL 45.829,92

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El diseño de una compuerta tipo segmento se la puede realizar sin ningún problema debido a que existen normas, libros de compuertas hidráulicas y catálogos de compuertas ya elaboradas que nos dan ciertas recomendaciones para su diseño y también hay una gran cantidad de información para otros tipos de compuertas.

El Ecuador cuenta con personas capacitadas con conocimientos de diseño para la elaboración de estos tipos de compuertas, al mismo tiempo se recomienda que las universidades deban dictar una materia exclusivamente dedicada al manejo de normas de acuerdo a la

especialidad, para facilitar el manejo de las mismas a los futuros profesionales.

En el país se cuenta con las herramientas necesarias para la elaboración de compuertas, con mano de obra calificada para la construcción e instalación en sitio y se cuenta con los materiales necesarios para su fabricación.

Los procesos de soldadura MIG es el más adecuado para realizar las uniones entre metales para la construcción de la compuerta por tratarse de una soldadura continua y de baja porosidad, los equipos y materiales para este proceso se encuentran normalmente en el Ecuador.

Para realizar los controles de soldadura en la compuerta, para detectar porosidades, mala penetración o cualquier otra falla, existen algunas empresas que realizan controles con tintas penetrantes, ultra sonido y radiografías.

En conclusión el diseño de compuertas y la fabricación de las mismas se pueden realizar con facilidad en el Ecuador, para ayudar a mejorar la agricultura, controlando los niveles de agua y evitando la contaminación de los ríos con el agua de mar.

BIBLIOGRAFIA

- Norma NBR 8883-1996 “cálculo y fabricación de compuertas hidráulicas.”
- Norma: EM 1110-2-2702-2000 “calculation and manufacture of hydraulic gates”-cálculo y fabricación de compuertas hidráulicas.
- ABNT: asociación brasileña de normas técnicas.
- Compuertas hidráulicas por Paulo Cesar Ferreira Erbish 2da Edición.
- ASTM D575 - ASTM D412 – ASTM A-36 - ASTM D200
- ASME sección VII –DIV 2
- ANSI –AWS A5-18-93, AWS D1.1 y AWS A2.4
- ANSI-AWWA C210-97 (Epóxicos y Pintura)
- Nace Corrosion Engineer’s Referente Book III Edition
- Mecánica de fluidos Irving H. Shames. 3 era Edición.
- Catalogo de Equipos para Riego y Saneamiento ALSTOM.
- Catalogo de compuertas hidráulicas de ORBINOX.
- Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 5 ta Edición.

APÉNDICES

APÉNDICE A

NORMA NBR 8883:2002



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 / 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 2210-3122
Fax: (21) 2220-1762/2220-8436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2002,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

OUT 2002

PROJETO NBR 8883

Cálculo e fabricação de comportas hidráulicas

Origem: NBR 8883:1996

ABNT/CB-04 - Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos

CE-04:007.03 - Comissão de Estudo de Grades e Comportas

NBR 8833 - Calculation and Manufacture of Hydraulic Gates

Descriptors: Hydraulic Gate

Esta Norma substitui a NBR 8883:1996

Esta Norma cancela e substitui a NBR 12283:1991

Palavra-chave: Comporta hidráulica

29 páginas

Sumário

Prefácio

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Definições

4 Projeto mecânico

5 Fabricação

ANEXO

A Figuras

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma contém o anexo A, de caráter normativo.

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para o cálculo e fabricação de comportas hidráulicas.

1.2 Esta Norma se aplica a comportas e acionamentos oleodinâmicos por cilindros, bem como os demais componentes tais como: suportes, travas, tampas para ranhuras, hastes, pinos, vigas pescadoras, cilindros oleodinâmicos, tubulações, etc.

1.3 Outras estruturas e componentes não mencionados em 1.1 e 1.2 devem ser projetados segundo suas respectivas Normas.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão,

recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento

NBR 7188:1984 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre - Procedimento

NBR 7259:2001 – Comportas hidráulicas – Terminologia

NBR 11389:1990 – Sistemas de pintura para equipamentos e instalações de usinas hidroelétricas e termoeletricas.

NBR 11889:1992 – Bobinas e chapas grossas de aço carbono e de aço de baixa liga e alta resistência – Requisitos gerais

ASME B36.10M Edition 00 – Welded and Seamless Wrought Steel Pipe - The American Society for Mechanical Engineers.

ASME VIII div. 1: 2001 – Boiler and Pressure Vessel Code - The American Society for Mechanical Engineers.

AWS D1.1:2002 – Structural Welding Code - Steel - American Welding Society.

DIN 18800:1990 – Structural Steelwork Design and Construction - Deutsches Institut für Normung e.V

3 Definições

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições da NBR 7259 e as seguintes:

3.1 Definições gerais

3.1.1 Estado limite: Estado além do qual a estrutura/componente não retém mais a sua capacidade de resistir às ações aplicadas ou em que a estrutura/componente não tem mais condições de executar sua função ou serviço.

3.1.2 Ações (Fk): Forças atuando nas estruturas/componentes ou a causa de restrições aos deslocamentos nas estruturas/componentes. Ações incluem: vento, gravidade, cargas, temperatura, etc.

3.1.3 Resistências (R): Resistências das estruturas/componentes às ações a elas impostas. O valor da resistência está associado com o estado limite.

3.2 Definições aplicáveis ao cálculo da estabilidade

3.2.1 Fator parcial de segurança

3.2.1.1 Os fatores parciais de segurança γ_F e γ_M são aplicados às ações e resistências, respectivamente e levam em conta as variações nas ações e nas resistências.

3.2.1.2 O fator parcial de segurança γ_F à ação leva em consideração a variação das ações em termos de espaço e tempo, bem como as incertezas do modelo estrutural, além de cobrir qualquer suscetibilidade do sistema a reagir contra as ações.

3.2.1.3 O fator parcial de segurança γ_M à resistência leva em consideração a variação dos valores da resistência, bem como as imprecisões do modelo estrutural para o cálculo das resistências além de cobrir qualquer suscetibilidade do sistema a reagir contra as ações.

3.2.2 Fator de combinação: Fator de combinação ψ para as ações variáveis. O fator de combinação leva em consideração a probabilidade de ações variáveis ocorrerem simultaneamente.

3.2.3 Valores de projeto para as ações: Valores característicos das ações multiplicados pelo fator parcial de segurança à ação e pelo fator de combinação:

$$F_d = \gamma_F \cdot \psi \cdot F_k$$

3.2.4 Valores de projeto para as resistências: Valores característicos das resistências divididos pelo fator parcial de segurança à resistência:

$$R_d = R / \gamma_M$$

4 Projeto mecânico

4.1 Documentos

4.1.1 São considerados integrantes do processo de fabricação os documentos, quando aplicáveis, citados a seguir:

- a) memorial de cálculo;
- b) desenhos de implantação do equipamento nas obras civis;
- c) desenhos de conjunto, subconjunto e de detalhes da comporta e seus componentes;
- d) lista de materiais com a especificação dos materiais, suas quantidades e suas massas;
- e) manuais de montagem, operação, manutenção e de comissionamento no campo;
- f) especificação de proteção anticorrosiva;
- g) programa de inspeção e controle.

4.2 Materiais

4.2.1 A escolha dos materiais para a construção das comportas e seus componentes, bem como a dos materiais das soldas de emenda das peças, devem ser determinadas pelas características de cada estrutura e das tensões em que elas estão submetidas.

4.2.2 As constantes dos materiais empregadas (módulo de elasticidade, tensão de escoamento, etc.) devem ser tomadas das Normas dos respectivos materiais. Materiais não padronizados deverão ter suas características mecânicas comprovadas através de ensaios acompanhados da emissão de certificados de qualidade.

4.2.3 Devem ser levados em consideração todos os fatores que influenciam os valores das constantes dos materiais, por exemplo: espessura, tratamento térmico, temperatura de serviço, etc.

4.3 Constantes físicas

Caso nenhuma condição seja prescrita, as seguintes constantes físicas de 4.3.1 a 4.3.4 devem ser empregadas nesta Norma (outros valores poderão ser usados, desde que sejam provados e acordados entre fornecedor e comprador).

4.3.1 Massa específica

As massas específicas dos materiais devem ser como as indicadas na tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica

Água	1,00 kg/dm ³
Água do mar	1,04 kg/dm ³
Gelo	0,70 kg/dm ³
Esgoto	1,15 kg/dm ³
Aço	7,85 kg/dm ³
Alumínio	2,70 kg/dm ³
Borracha natural	0,93 kg/dm ³
Borracha sintética	1,23 kg/dm ³
Bronze	8,80 kg/dm ³
Concreto	2,00 kg/dm ³
Plástico	1,45 kg/dm ³
Madeira	1,02 kg/dm ³
Óleo mineral	0,90 kg/dm ³

4.3.2 Coeficientes de atrito de deslizamento

4.3.2.1 Podem-se adotar os valores de coeficiente de atrito de deslizamento da tabela 2.

4.3.3 Coeficientes de atrito de rolamento

4.3.3.1 Para o braço de resistência ao rolamento entre roda/rolo e pista de rolamento, devem ser adotados os valores da tabela 3.

Tabela 2 – Coeficientes de atrito

Materiais	Coeficiente de atrito	
	Estático	Dinâmico
Aço x aço (não lubrificado)	0,40	0,20
Aço x aço (lubrificado)	0,30	0,15
Aço x ligas de cobre (não lubrificado)	0,20	0,15
Aço x ligas de cobre (lubrificado)	0,15	0,10
Aço x ligas de cobre autolubrificante	0,15	0,10
Aço x poliamida	0,25	0,15
Aço x polietileno	0,20	0,10
Aço x elastômero	1,00	0,70
Aço x PTFE	0,10	0,10
Aço x concreto	0,4	0,4
Aço x madeira (longitudinal às fibras)	0,45	-
Aço x madeira (transversal às fibras)	0,55	-

Tabela 3 – Braço de resistência ao rolamento

	Braço de resistência ao rolamento f [mm]	
	Em movimento	Na partida
Aço com HB $\leq$ 150 HB	0,50	1,00
Aço com HB $\geq$ 300 HB	0,20	1,00
NOTA - Valores intermediários podem ser interpolados.		

4.3.3.2 Para mancais de rolamento, caso não sejam executados cálculos mais precisos, pode-se adotar o coeficiente de atrito $\mu = 0,003$.

4.3.4 Constantes do material

Indicativamente, para aço estrutural e aço fundido, podem ser adotados os seguintes valores de constantes do material para o módulo de elasticidade longitudinal, módulo de elasticidade transversal, coeficiente de Poisson e coeficiente de dilatação térmica. Outros valores devem ser claramente justificados.

- a) módulo de elasticidade longitudinal: $E = 206\,000\text{ MPa}$;
- b) módulo de elasticidade transversal: $G = 80\,000\text{ MPa}$;
- c) coeficiente de Poisson: $\nu = 0,3$;
- d) coeficiente de dilatação térmica: $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

4.4 Valores de referência

Caso nenhuma condição seja prescrita ou nenhum cálculo/demonstração mais apurado seja executado, os seguintes valores de referência de 4.4.1 a 4.4.10 devem ser empregados nesta Norma (outros valores poderão ser usados, desde que sejam justificados e acordados entre fornecedor e comprador).

4.4.1 Peso da proteção anticorrosiva

Pode ser adotado o valor de 10 N/m^2 .

4.4.2 Peso de corpos estranhos

O peso de corpos estranhos e/ou de água retidos na parte não submersa da comporta e considerando o sentido mais desfavorável pode ser adotado com valor de 30 N/m^2 , referente à(s) área(s) de sua possível deposição.

4.4.3 Cargas vivas

4.4.3.1 Para tráfego de veículos sobre tampas de ranhuras ou suportes previstos nesta Norma, deve ser empregada a NBR 7188.

4.4.3.2 Para passarelas e plataformas de operação devem ser adotados os valores da tabela 4.

Tabela 4 – Cargas verticais em passarelas e plataformas de operação e cargas horizontais em corrimãos

Passarelas	$2,5\text{ kN/m}^2 = 254,9\text{ kgf/m}^2$
Corrimão	$0,5\text{ kN/m} = 51,0\text{ kgf/m}$

4.4.4 Impacto devido à movimentação

4.4.4.1 Para dispositivos de armazenamento ou estocagem deve-se majorar o peso total sobre o dispositivo pelo fator de 1,25.

4.4.4.2 Para o içamento ou movimentação de componentes deve-se majorar a força total sobre o componente pelo fator de 1,05. Para componentes que serão movimentados por sistema oleodinâmico não é necessária a aplicação deste fator de majoração.

4.4.5 Temperatura

As variações de temperatura deverão ser adotadas de acordo com a tabela 5 (valores usados em relação à temperatura de montagem).

Caso a temperatura de montagem seja desconhecida, deve-se adotar o valor da temperatura média anual e na falta deste adota-se o valor de 15°C ($288,15\text{K}$).

Tabela 5 – Variação de temperatura

Comporta temporariamente fora da água	$\pm 35^{\circ}\text{C}$
Comporta molhada em um lado	$\pm 20^{\circ}\text{C}$
Comporta parcialmente molhada nos dois lados	$\pm 20^{\circ}\text{C}$
Comporta completamente submersa	$\pm 10^{\circ}\text{C}$

4.4.6 Atrito em flange de rodas

Para a força de atrito devida ao flange de roda, deve-se adotar o valor de 1/100 da carga radial na roda estudada.

4.4.7 Ações nos componentes de guiamento lateral

Os componentes de guiamento lateral (patins de guia, roda de guia, etc.) devem ser analisados com uma carga equivalente a 10% do peso do elemento de comporta que está sendo guiado ou 10% do peso da comporta que possui elementos ligados (por exemplo: elementos ligados por articulações ou soldados).

4.4.8 Atrito de embarcações em comportas de eclusa

4.4.8.1 Atrito nas embarcações

4.4.8.1.1 Na direção perpendicular ao movimento deve ser considerada para o atrito de embarcações uma carga horizontal de 100 kN aplicada ao nível d'água.

4.4.8.1.2 No sentido do movimento deve ser considerada para o atrito de embarcações uma carga horizontal de 50 kN aplicada ao nível d'água.

4.4.9 Vazamento pelas vedações das comportas

4.4.9.1 Vedações de borracha e similares

Nas condições normais de operação o vazamento máximo admissível deve ser de 0,10 dm³/s por metro linear de vedação.

4.4.9.2 Vedações metálicas

O vazamento máximo admissível deverá ser previamente acordado entre fornecedor e comprador.

4.4.10 Acionamento oleodinâmico da comporta

4.4.10.1 Pressão de trabalho no cilindro oleodinâmico de acionamento

A pressão de trabalho do cilindro oleodinâmico de acionamento deve ser igual à máxima pressão calculada, devido à força de acionamento conforme 4.6.2, para cada caso de carga correspondente.

4.4.10.2 Pressão de regulação na válvula de segurança principal do acionamento oleodinâmico

A válvula de segurança principal deve ser ajustada para um valor no mínimo igual a 110% do valor máximo da somatória das perdas de carga mais a pressão de trabalho máxima do cilindro na pior condição de trabalho.

4.4.10.3 Pressão de regulação nos pressostatos e/ou dispositivos de segurança secundários do acionamento oleodinâmico

A pressão de regulação em pressostatos e/ou dispositivos de segurança secundários do acionamento oleodinâmico deve ser ajustada para um valor igual a 95% do valor de ajuste da válvula de segurança principal.

4.4.10.4 Velocidades

4.4.10.4.1 Velocidade do cilindro de acionamento

Deve ser acordada entre comprador e fornecedor.

4.4.10.4.2 Velocidade de fechamento da comporta no final do curso

A velocidade de fechamento no final do curso deve ser menor que 1,0 m/min.

4.4.10.4.3 Velocidade do fluido de trabalho nas tubulações do circuito oleodinâmico do acionamento

Os seguintes limites de velocidade devem ser adotados para o fluido do acionamento oleodinâmico nas diversas tubulações para todos os regimes de movimentação (abertura, fechamento normal, fechamento em emergência, etc.):

- a) tubulação de pressão: 6,0 m/s;
- b) tubulação de retorno: 4,5 m/s;
- c) tubulação de sucção: 1,2 m/s;
- d) tubulação de aspiração: 1,2 m/s;

4.4.10.5 Volume do reservatório do fluido no circuito oleodinâmico do acionamento

O volume mínimo (V_{min}) do reservatório deve ser 20% maior que o volume de passagem no reservatório, mais os volumes necessários para sucção dos componentes e para o "respiro" do reservatório.

O volume de passagem (V_{passagem}) é a diferença máxima do volume de fluido que circula pelo reservatório, considerando uma manobra completa do(s) cilindro(s) (estender ou recolher a haste).

O volume de sucção ($V_{\text{sucção}}$) é o corresponde ao volume mínimo para a operação correta dos componentes do circuito oleodinâmico (sucção das bombas, etc.).

O volume de respiro (V_{respiro}) do reservatório é o volume mínimo de ar que deve ficar no reservatório para o correto funcionamento do sistema. Deve ser maior ou igual ao volume das tubulações de interligação entre a central e o(s) cilindro(s) oleodinâmico(s).

Portanto tem-se:

$$V_{\text{mín}} > 1,2 \times V_{\text{passagem}} + V_{\text{sucção}} + V_{\text{respiro}}$$

4.4.10.6 Regime do fluido de trabalho

O fluido de trabalho deve trabalhar no regime laminar com número de Reynolds (Re) menor que 2 200.

4.4.10.7 Potência de acionamento

A potência nominal de acionamento deve ser 5% maior que a potência requerida, considerando a pressão de regulação da válvula limitadora de pressão e o rendimento mecânico hidráulico do sistema.

Caso não estejam disponíveis os dados necessários, pode-se usar o seguinte rendimento mecânico-hidráulico (η) para acionamento direto motor elétrico/ bomba hidráulica:

$$\eta = 0,85$$

4.5 Ações a considerar

As ações de 4.5.1 a 4.5.19 devem ser consideradas no cálculo das comportas e seus componentes.

4.5.1 Carga hidrostática

Deve-se usar a carga hidrostática mais desfavorável para o caso de carga analisado.

4.5.2 Carga hidrodinâmica

As cargas hidrodinâmicas que atuam sobre a comporta devem ser determinadas com base em dados experimentais (ensaio em modelo reduzido, por exemplo) ou por método analítico conforme acordo preestabelecido entre comprador e fornecedor.

4.5.3 Peso

O peso da comporta é a soma das seguintes parcelas:

- a) peso da parte estrutural;
- b) peso dos conjuntos mecânicos apoiados na estrutura da comporta;
- c) peso do lastreamento;
- d) peso da proteção anticorrosiva;
- e) peso dos corpos estranhos;
- f) peso da água retida.

4.5.4 Empuxo de Arquimedes

O empuxo deve ser considerado em todas as partes submersas da comporta.

4.5.5 Atrito

Os atritos de deslizamento e de rolamento devem ser considerados nas condições mais desfavoráveis. Sempre que aplicável deve-se executar a análise sob os coeficientes de atrito estático e dinâmico.

4.5.6 Vento

A área exposta ao vento deve ser calculada como sendo a projeção ortogonal da superfície exposta ao vento sobre um plano perpendicular à direção do vento.

A prescrições da NBR 6123 devem ser empregadas no cálculo.

4.5.7 Variação da temperatura

Os efeitos térmicos sobre a comporta devem ser considerados separadamente para os casos de:

- a) variação de temperatura em relação à temperatura de montagem;
- b) atuação desigual sobre a estrutura.

4.5.8 Sedimento

As cargas devidas à pressão de sedimentos depositados na comporta devem ser consideradas.

A pressão vertical deve ser calculada como o peso do sedimento na água.

A força horizontal devida ao sedimento pode ser calculada pela equação a seguir:

$$H_s = \frac{C_s \cdot \gamma_s \cdot d_s}{9,80665}$$

Onde:

H_s é a pressão horizontal devida ao sedimento no ponto considerado, em [mca];

C_s é o fator de pressão do sedimento (valores variam de 0,40 à 0,60);

γ_s é o peso específico do sedimento na água, em [kN/m³];

d_s é a profundidade do ponto estudado em relação ao nível do sedimento, em [m].

4.5.9 Onda

As cargas devidas às ondas superficiais devem ser consideradas em função das condições locais.

Em comportas de eclusas, deve ser considerado um acréscimo de 0,25 mca, caso condições mais desfavoráveis não sejam prescritas.

4.5.10 Abalo sísmico

A influência de sismos deve ser considerada no projeto das comportas, podendo o seu efeito ser simulado como uma força horizontal de intensidade igual à massa da comporta multiplicada pela aceleração sísmica horizontal provável na região. Deve ser verificada no projeto a possibilidade de ocorrência de ressonância e seus efeitos.

A pressão dinâmica devida ao sismo pode ser verificada pela equação de Westergaard:

$$p_d = \frac{7}{8} \cdot \gamma \cdot k \cdot \sqrt{H_r \cdot h}$$

Onde:

p_d é a pressão dinâmica no ponto considerado, em [mca];

γ é o peso específico da água, em [tf/m³];

k é o fator devido ao sismo (expresso como a relação entre aceleração devida ao sismo e aceleração da gravidade: a/g);

H_r é a diferença de cota entre o nível d'água e a profundidade do fundo do reservatório, em [m];

h é a profundidade do ponto estudado em relação ao nível d'água, em [m].

4.5.11 Impacto e pressão de gelo

As influências do impacto e da pressão de gelo devem ser consideradas em função das condições locais.

4.5.12 Embarcações em comporta de eclusa

4.5.12.1 Impacto devido às embarcações

Se houver a possibilidade de impacto de embarcações, deverá ser prevista uma estrutura separada da comporta para absorver este impacto.

4.5.12.2 Atrito devido às embarcações

As cargas provenientes do eventual atrito das embarcações com as comportas da eclusa em posição aberta devem ser consideradas.

4.5.13 Cargas vivas

As estruturas devem ser verificadas quando submetidas a cargas vivas (passarela, corrimão, tampa de ranhura submetida a tráfego rodoviário, comportas previstas para servirem como ponte). O comprador deve especificar quais são as cargas vivas sobre todos os componentes a elas sujeitas.

4.5.14 Forças devidas à inércia

As estruturas devem ser verificadas quando submetidas a forças devido à inércia. Na análise das estruturas podem ser desprezadas as forças devidas às acelerações inferiores a $0,50 \text{ m/s}^2$, referindo-se ao centro de gravidade da comporta ou estrutura analisada.

4.5.15 Transporte, montagem e reparos

Quando necessário, as ações durante o transporte, durante a montagem ou durante os reparos nas comportas devem ser consideradas.

4.5.16 Alteração das condições de apoio

Quando informado pelo Comprador as ações provenientes de eventuais alterações de apoio devidas aos recalques diferenciais das fundações ou ao deslocamento das estruturas de concreto devem ser consideradas no projeto das comportas (tratadas como caso de carga excepcional).

4.5.17 Impedimento do movimento

Caso o movimento da comporta possa ser impedido por corpos estranhos (materiais flutuantes presos à comporta, sedimentação sobre a comporta, gelo sobre a comporta ou obstruções similares), as ações e as possíveis combinações destas devem ser consideradas (tratadas como caso de carga excepcional).

4.5.18 Comportas com acionamento em dois lados

Em comportas que sejam acionadas por mecanismos nos dois lados o comprador deve especificar qual a combinação de ações a ser considerada (tratadas como caso de carga excepcional):

- a) sustentar a comporta por um lado e executar um movimento curto para posicionar a comporta para uma posição de reparo;
- b) fechar a comporta temporariamente por um só lado.

4.5.19 Ações do acionamento de ocorrência anormal

Em caso de ocorrência de ações anormais do acionamento da comporta (por exemplo a comporta travar nas suas guias devido a um desbalanceamento), deve ser considerada, em todos os componentes e estruturas envolvidos, a maior ação possível do acionamento. A máxima ação será aquela limitada pelo sistema de segurança do acionamento (por exemplo, a força gerada em um cilindro devida à atuação da válvula de segurança na sua pressão de regulação no sistema oleodinâmico).

Estas ações devem ser tratadas como caso de carga excepcional.

4.6 Forças de acionamento

4.6.1 A influência dos esforços de manobra sobre os elementos estruturais deve ser considerada no dimensionamento da comporta, de acordo com a capacidade nominal do sistema de acionamento, para o caso de carga normal, ou com a capacidade máxima, para o caso excepcional. A capacidade máxima a considerar, no caso de sistemas oleodinâmicos, é a correspondente à pressão da válvula de segurança e, no caso de sistemas eletromecânicos, a do dispositivo limitador ou, na sua ausência, a do torque máximo do motor.

4.6.2 A força de acionamento calculada deve ser majorada em 10% (força nominal = $1,10 \times$ força calculada) para todos os casos de carga analisados.

4.6.3 Em comportas que devem fechar pela ação do peso próprio, deve ser comprovada a preponderância de fechamento, multiplicando-se as forças de atrito pelos seguintes valores:

- a) caso de carga normal: 1,25 (Forças que fecham > Forças que abrem + $1,25 \times$ F atrito)
- b) caso de carga ocasional: 1,20 (Forças que fecham > Forças que abrem + $1,20 \times$ F atrito)

4.7 Casos de carga

Conforme a frequência das cargas e as probabilidades de sua simultaneidade, devem ser considerados os casos de carga de 4.7.1 a 4.7.3.

4.7.1 Caso de carga normal

4.7.1.1 Devem ser considerados neste caso os valores e combinações mais desfavoráveis das cargas hidrostáticas para os níveis d'água máximos normais (inclusive a influência das ondas na variação do nível d'água), das ações indicadas em 4.5 e das forças devidas aos esforços de manobra.

4.7.1.2 A existência simultânea destas ações e níveis, e suas combinações, só devem ser consideradas quando isso for possível e provável.

4.7.2 Caso de carga Ocasional

4.7.2.1 Devem ser consideradas neste caso as ações que aparecem com menor frequência como:

- a) cargas hidrostáticas e hidrodinâmicas devidas ao nível de água máximo maximorum previsto;
- b) ação devida ao vento;
- c) influência da variação da temperatura;
- d) atrito devido ao contato com embarcações;
- e) impacto e pressão devidos ao gelo.

4.7.2.2 A existência simultânea destas ações e níveis, inclusive com as ações indicadas em 4.7.1.1 e das forças devidas aos esforços de manobra e suas combinações, só deve ser considerada quando for possível e provável.

4.7.3 Caso de carga excepcional

4.7.3.1 Devem ser consideradas neste caso as ações que eventualmente aparecem durante o transporte, na montagem, durante a manutenção e em outros casos excepcionais, bem como as seguintes:

- a) cargas hidrodinâmicas e sobrecargas devidas aos esforços de manobra no caso de ruptura de blindagens ou de condutos forçados;
- b) ações assimétricas ou sobrecargas devidas aos esforços de manobra, em consequência de eventuais travamentos da comporta por corpos estranhos ou danificação dos apoios ou pistas de rolamento;
- c) ações devidas ao sismo;
- d) alteração das condições de apoio(s).

4.7.3.2 A existência simultânea destas ações e níveis, inclusive com as ações indicadas em 4.7.1.1 e 4.7.2.1 e das forças devidas aos esforços de manobra e suas combinações, só deve ser considerada quando for possível e provável.

4.8 Dimensionamento das comportas, seus componentes e acionamento oleodinâmico

As estruturas das comportas devem ser dimensionadas de acordo com a teoria da elasticidade.

4.8.1 Estado limite último

O estado limite último a ser considerado é aquele em que se inicia o escoamento da estrutura.

4.8.2 Conteúdo das memórias de cálculo

4.8.2.1 A memória de cálculo deve conter pelo menos os seguintes elementos (quando aplicável):

- a) croquis da estrutura metálica com as dimensões necessárias ao cálculo e os respectivos carregamentos;
- b) grandeza e localização das cargas para cada caso de carga considerado;
- c) materiais de construção e elementos de ligação;
- d) dimensões e seções dos elementos estruturais principais;
- e) tensões admissíveis;
- f) tensões reais em todos os elementos nas seções principais e nas conexões;
- g) análise da estabilidade elástica
- h) análise de fadiga e vibração, sempre que necessários;
- i) valores das deformações e dos deslocamentos máximos que possam afetar o funcionamento correto da comporta;
- j) esforços de manobra que ocorrem durante as operações da comporta;
- k) critérios de cálculo e fontes de consulta.

4.8.2.2 Os cálculos efetuados por processos computacionais devem ser acompanhados de uma descrição do método ou formulações empregadas, da forma de análise da estrutura, dos dados de entrada e dos resultados. Os cálculos executados pelo método dos elementos finitos ou similares devem ser acompanhados de uma listagem dos dados de entrada do cálculo. O memorial deve também referenciar o nome do programa utilizado, sua versão e o(s) tipo(s) do(s) elemento(s) utilizado(s).

4.8.3 Método de cálculo

Os métodos de cálculo são opção do responsável pelo projeto e devem garantir uma análise completa da estrutura.

4.8.4 Carregamento estático

4.8.4.1 As estruturas e componentes abrangidos nesta Norma são analisados como carregados estaticamente, isto é, as cargas aplicadas aumentam de intensidade a partir de zero de maneira lenta e gradual.

4.8.4.2 Os efeitos de concentração de tensões podem ser considerados a critério do responsável pelo projeto.

4.8.4.3 Coeficiente de segurança ao carregamento estático

4.8.4.3.1 Os coeficientes de segurança ao carregamento estático são os indicados na tabela 6, sendo que estes são aplicados sobre a tensão limite de escoamento “Se” do material, nas condições de operação.

4.8.4.3.2 Para aços sem patamar de escoamento, toma-se como base a tensão correspondente à deformação permanente de 0.2%.

4.8.4.3.3 Os coeficientes da tabela 6 não se aplicam aos aços cujo limite de escoamento ultrapasse 80% do limite de ruptura, considerados os valores mínimos destes limites.

4.8.5 Fadiga

4.8.5.1 Se não for especificada em contrário, a vida útil das estruturas e componentes abrangidos nesta Norma, deverá ser de 50 anos.

A verificação à fadiga é dispensada se:

$$\Delta\sigma < 26 \text{ MPa, ou}$$

$$n < 5 \times 10^6 \times (26/\Delta\sigma)^3$$

Onde:

$\Delta\sigma$ é a diferença entre as tensões máxima e mínima (amplitude);

n é o número de ciclos de tensão.

4.8.5.2 A resistência à fadiga deve ser determinada por um dos seguintes modos:

- adotando-se o limite de fadiga para o qual o material suporta um número ilimitado de ciclos;
- determinando-se a partir da curva de *Wöhler* do material o valor da resistência à fadiga correspondente ao número total de ciclos de sua vida útil.

4.8.5.3 Coeficiente de segurança à fadiga

4.8.5.3.1 Os coeficientes de segurança à fadiga são os indicados na tabela 6, sendo que estes são aplicados sobre a tensão limite de resistência à fadiga “Sf” do material nas condições de operação (temperatura e número de ciclos esperados).

4.8.5.3.2 Os efeitos de concentração de tensões devem ser sempre considerados na verificação à fadiga.

4.8.5.4 Caso nenhuma condição seja prescrita, o número de ciclos a ser considerado no dimensionamento à fadiga deve ser:

- barragens e hidrelétricas – usualmente não é requerida a verificação de fadiga. Em comportas usadas para regulação da descarga, a frequência de operação deverá ser informada pelo Comprador;
- para portas de eclusas e comportas de aquedutos deve-se considerar no mínimo 300 dias de operação por ano com pelo menos 20 operações diárias;

4.8.5.5 Elementos mecânicos solicitados em sua vida útil em mais de 10^4 ciclos devem ser dimensionados à fadiga.

4.8.6 Tensões

4.8.6.1 A verificação das tensões deve ser feita para todos os elementos da estrutura e componentes relacionados, para cada caso de carga a considerar.

4.8.6.2 As tensões devem ser calculadas levando-se em consideração a presença de furos existentes em suas quantidades, formas e localização.

4.8.6.4 Tensões de cisalhamento em almas de perfis laminados

As tensões de cisalhamento em almas de perfis laminados (I, H ou U) podem ser calculadas pela seguinte equação:

$$\tau = \frac{V}{t_a \cdot (h - 2 \cdot t_m)}$$

Onde:

τ é a tensão de cisalhamento;

V é a força cortante;

t_a é a espessura da alma;

h é a altura do perfil;

t_m é a espessura média da mesa do perfil.

4.8.6.5 Tensão virtual de comparação de Von Mises

4.8.6.5.1 Para qualquer estado de tensão atuante, deve ser utilizada a equação geral da tensão virtual de comparação de Von Mises:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - \sigma_{xx} \cdot \sigma_{yy} - \sigma_{xx} \cdot \sigma_{zz} - \sigma_{yy} \cdot \sigma_{zz} + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Onde:

σ_v indica o valor numérico da tensão virtual de comparação, associado ao critério de *Von Mises*

σ_{xx} indica que a tensão normal possui a direção do eixo x e atua num plano ortogonal ao eixo x

σ_{yy} indica que a tensão normal possui a direção do eixo y e atua num plano ortogonal ao eixo y

σ_{zz} indica que a tensão normal possui a direção do eixo z e atua num plano ortogonal ao eixo z

τ_{xy} indica que a tensão de cisalhamento possui a direção do eixo x e atua num plano ortogonal ao eixo y

τ_{xz} indica que a tensão de cisalhamento possui a direção do eixo x e atua num plano ortogonal ao eixo z

τ_{yz} indica que a tensão de cisalhamento possui a direção do eixo y e atua num plano ortogonal ao eixo z

4.8.6.5.2 As tensões nas estruturas e seus componentes serão avaliados pela tensão de virtual de comparação de Von Mises e estas deverão estar dentro dos valores das tensões admissíveis para o caso de carga estudado, exceto para elementos mecânicos curtos.

4.8.6.5.3 As tensões em elementos mecânicos curtos (elementos cuja relação entre a maior e a menor dimensão não ultrapasse 3,5 como por exemplo: rebites, pinos de guia, pinos de acoplamento entre olhais, chavetas), serão avaliadas pela tensão de cisalhamento conforme a hipótese simplificadora da resistência dos materiais.

4.8.6.5.4 A validade do critério de *Von Mises* está condicionada à desigualdade:

$$I_1 \leq S_e$$

Onde:

$$I_1 = \text{invariante de primeira ordem} = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz};$$

S_e = tensão de escoamento do material no ensaio de tração.

4.8.6.5.5 Caso a desigualdade da subseção 4.8.5.6.3 não seja atendida, ainda pode-se utilizar a fórmula da tensão virtual de *Von Mises* desde que a seguinte desigualdade seja confirmada:

$$I_1^2 - 2 \cdot I_2(1 + \nu) < S_e^2$$

Onde:

$$I_1 = \text{invariante de primeira ordem} = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$$

$$I_2 = \text{invariante de segunda ordem} = \sigma_{xx} \cdot \sigma_{yy} + \sigma_{xx} \cdot \sigma_{zz} + \sigma_{yy} \cdot \sigma_{zz} - (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)$$

ν = coeficiente de *Poisson*

S_e = tensão de escoamento

4.8.7 Tensões admissíveis

4.8.7.1 As tensões admissíveis para os materiais adequados à fabricação de comportas, seus componentes e o acionamento oleodinâmico, são as correspondentes ao produto dos coeficientes “s” da Tabela 6 pelo:

- Limite de escoamento “Se”, no caso de carregamento estático (s.Se);
- Limite de resistência à fadiga do material “Sf”, no caso de análise à fadiga (s.Sf).

Tabela 6 – Coeficientes “s” definidores de tensões admissíveis

	Tensão	Caso de carga		
		Normal	Ocasional	Excepcional
Elementos estruturais	Tensão virtual de comparação	0,76	0,82	0,92
	Tensão virtual de comparação no paramento	0,87	0,87	0,92
	Pressão de contato com movimento relativo	0,55	0,60	0,70
	Pressão de contato sem movimento relativo	0,90	0,90	0,90
Elementos mecânicos	Tensão virtual de comparação	0,50	0,63	0,90
	Tensão virtual de comparação em olhais (seção que passa pelo furo) analisados conforme 4.10.1	0,30	0,35	0,40
	Tensão de cisalhamento em elementos curtos conforme 4.8.6.6.3	0,39	0,43	0,51
	Pressão de contato com movimento relativo	0,55	0,60	0,70
	Pressão de contato sem movimento relativo	0,90	0,90	0,90

4.8.7.2 As tensões admissíveis no paramento das comportas podem ser majoradas em 20% nos casos em que ocorram tensões secundárias, localizadas ou de pico, desde que a soma das tensões normais no ponto estudado (invariante de 1ª ordem) seja negativa.

4.8.8 Estabilidade elástica

4.8.8.1 A verificação da estabilidade deve ser efetuada com a DIN 18800/1990 e deve analisar separadamente cada caso de carga mencionado. Os coeficientes parciais de segurança para a aplicação da Norma DIN 18800/1990 são os indicados na tabela 7.

Tabela 7 – Fatores parciais de segurança

	Fator parcial de segurança à		Fator de combinação		
	ação γ_F	resistência γ_M	Caso de carga		
			Normal	Ocasional	Excepcional
Elementos estruturais	1,35	1,1	1,0	0,9	0,8
Elementos mecânicos	1,35	1,5	1,0	0,9	0,8

4.8.9 Vibrações

A influência de vibrações, quando detectadas em ensaios de modelos reduzidos, deve ser levada em consideração no projeto do equipamento.

4.8.10 Deformações

Deve ser comprovado que as deformações da estrutura não comprometam a estanqueidade e durabilidade das vedações, a possibilidade de movimentação e as condições de apoio da comporta.

4.9 Dimensionamento das estruturas metálicas

Os elementos estruturais pertencentes à comporta como tabuleiro, suportes do sistema de acionamento, suportes para calagem, suportes para montagem, hastes de manobra, vigas pescadora, peças fixas, devem ser dimensionados estática e dinamicamente, conforme disposto nesta subseção.

4.9.1 Chapas

4.9.1.1 Largura útil de chapas planas

Em chapas que atuam como abas em seções compostas solicitadas à flexão (por exemplo chapas de paramento enrijecidas conforme a figura 1), a largura útil L_u deve ser calculada pela seguinte equação:

$$L_u = 2.B.\lambda$$

Onde:

L_u é a largura útil de chapas que atuam como abas em seções compostas solicitadas à flexão;

B é a metade da distância entre eixos de duas vigas consecutivas ou comprimento do balanço (figura 1);

L é a distância entre momentos nulos;

λ é o coeficiente de redução conforme, figura 2, que é função da relação L/B e do tipo de diagrama de momento fletor M_I ou M_{II} .

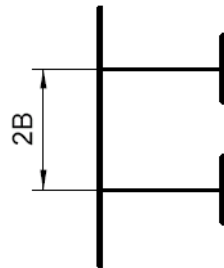


Figura 1 – Vigas consecutivas no paramento

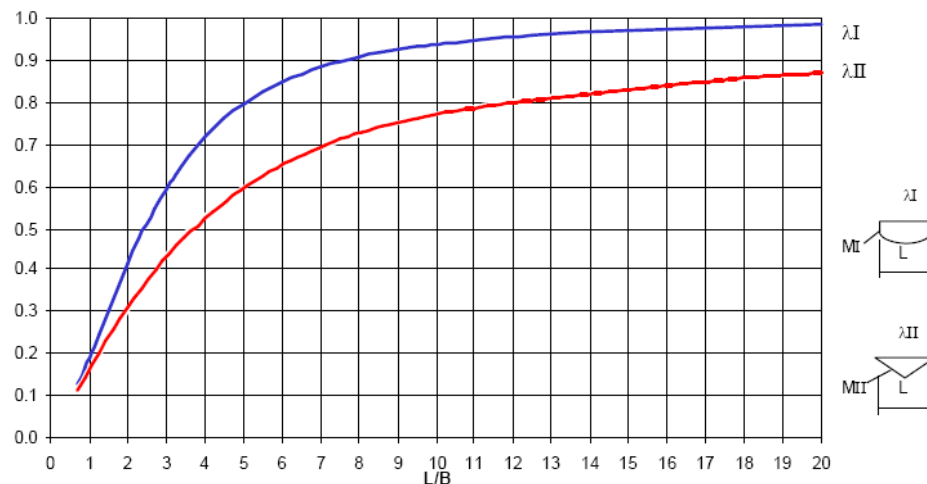


Figura 2 – Coeficiente de redução

4.9.1.2 Largura útil de chapas curvas

No caso de chapas curvas, a largura útil da aba das vigas localizadas no plano de curvatura, calculada conforme 4.9.1.1 deve ser limitada a:

$$L_u \leq 1,56 (R \cdot t)^{0,5}$$

Onde:

L_u é a largura útil da chapa;

R é o raio de curvatura;

t é a espessura da chapa curva.

4.9.1.3 Largura útil – Cálculo alternativo

A critério do projetista, o cálculo da largura útil das chapas poderá ser executado de acordo com a DIN 18800/1990.

4.9.1.4 Tensões nas placas

As placas solicitadas à flexão por pressão hidráulica devem ser calculadas pela teoria de placas, baseada na teoria da elasticidade, considerando as condições de apoio. O cálculo das tensões máximas de flexão em placas retangulares deve ser efetuado pela seguinte equação:

$$\sigma = \frac{k}{100} \cdot \frac{p \cdot a^2}{t^2}$$

Onde:

k é o coeficiente dado na Tabela 8 em função das condições de apoio e das dimensões da placa;

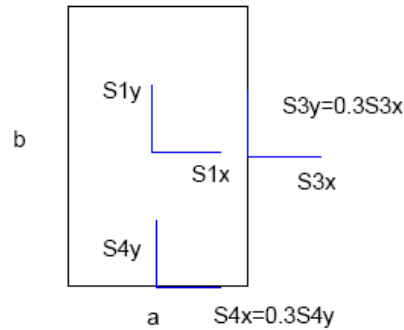
p é a pressão hidrostática no centro da placa;

a é a menor dimensão da placa;

b é a maior dimensão da placa;

t é a espessura da placa.

Tabela 8 – Coeficientes k para tensão de placa



b/a	Quatro lados apoiados		Quatro lados engastados				Um lado maior apoiado e três engastados				Um lado menor apoiado e três engastados			
	±S1x	±S1y	±S1x	±S1y	±S4y	±S3x	±S1x	±S1y	±S4y	±S3x	±S1x	±S1y	±S4y	±S3x
∞	75,0	22,5	25,0	7,5	34,2	50,0	37,5	11,3	47,2	75,0	25,0	7,5	34,2	50,0
3,00	71,3	24,4	25,0	7,5	34,3	50,0	37,4	12,0	47,1	74,0	25,0	7,6	34,2	50,0
2,50	67,7	25,8	25,0	8,0	34,3	50,0	36,6	13,3	47,0	73,2	25,0	8,0	34,2	50,0
2,00	61,0	27,8	24,7	9,5	34,3	49,9	33,8	15,5	47,0	68,3	25,0	9,0	34,2	50,0
1,75	55,8	28,9	23,9	10,8	34,3	48,4	30,8	16,5	46,5	63,2	24,6	10,1	34,1	48,9
1,50	48,7	29,9	22,1	12,2	34,3	45,5	27,1	18,1	45,6	56,5	23,2	11,4	34,1	47,3
1,25	39,6	30,1	18,8	13,5	33,9	40,3	21,4	18,4	42,5	47,2	20,8	12,9	34,1	44,8
1,00	28,7	28,7	13,7	13,7	30,9	30,9	14,4	16,6	36,0	32,8	16,6	14,2	32,8	36,0

b/a	Um lado maior livre e três engastados				Um lado menor livre e três engastados			
	±S1x	±S1y	±S4y	±S3x	±S1x	±S1y	±S4y	±S3x
∞	65,0	25,5	103,6	300,0	25,0	7,5	50,0	33,5
3,00	11,2	18,0	100,4	216,4	25,0	7,5	50,0	33,5
2,50	0,1	26,8	95,7	175,3	25,0	7,5	49,9	33,5
2,00	11,3	32,0	85,4	124,9	24,8	7,7	49,7	33,5
1,75	14,4	31,9	77,4	98,5	24,3	8,9	49,0	33,5
1,50	15,2	29,7	67,1	73,7	23,6	9,3	47,1	33,4
1,25	13,6	25,5	54,7	51,6	21,1	9,5	43,2	33,3
1,00	9,9	19,6	40,7	33,1	19,6	9,9	40,7	33,1

4.9.2 Peças fixas

4.9.2.1 O cálculo estrutural deve basear-se na teoria da elasticidade ou na teoria de viga sobre base elástica.

4.9.2.2 O módulo de reação da fundação deve ser calculado pela seguinte equação:

$$K = 0,4 \cdot E_c \cdot \sqrt[3]{\frac{E_c \cdot b^4}{E_a \cdot I}}$$

Onde:

K é o módulo de reação da fundação

E_c é o módulo de elasticidade secante do concreto

E_a é o módulo de elasticidade longitudinal do aço

b é a largura de cálculo da viga do caminho de rolamento ou deslizamento

I é o momento de inércia da seção da viga

4.9.2.3 Na falta de outros valores, o módulo de elasticidade secante do concreto deve ser calculado pela seguinte equação:

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad [\text{MPa}]$$

Onde:

E_c é o módulo de elasticidade secante do concreto, em [MPa];

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em [MPa].

4.9.2.4 O valor mínimo da resistência característica do concreto à compressão deve ser de 18,0 MPa. Valores inferiores podem ser usados quando justificados pelo construtor civil.

4.9.2.5 No cálculo da viga sobre base elástica, considera-se que o contato entre o perfil de apoio e o concreto é feito apenas pela aba inferior (aba mais interna ao concreto), excetuando-se os casos em que fique comprovada, por cálculo, a efetiva colaboração do concreto envolvente.

4.9.2.6 Para o dimensionamento do caminho de rolamento, proceder como descrito a seguir:

4.9.2.6.1 Os caminhos de rolamento apoiados continuamente sobre o concreto devem ser dimensionados, considerando-se a pressão de contato entre a roda e o caminho de rolamento, a superposição dos efeitos das rodas adjacentes, a compressão no concreto, a flexão, o cisalhamento e eventuais compressões na alma e torção do perfil de apoio.

4.9.2.6.2 A dureza superficial do caminho de rolamento deve exceder a do material da roda. Esta exigência não se aplica aos equipamentos de uso provisório (por exemplo, equipamentos para o desvio do rio), nem aos elementos de guia lateral e de contraguia.

4.9.2.7 Para o dimensionamento do caminho de deslizamento, proceder como o descrito a seguir:

Os caminhos de deslizamento apoiados continuamente sobre o concreto devem ser dimensionados, considerando-se a pressão de contato entre os cutelos laterais ou sapatas de apoio e o caminho de deslizamento, a compressão no concreto, a flexão e o cisalhamento.

4.9.2.8 Para a compressão máxima admissível no concreto, deve-se observar o descrito em 4.9.2.8.1 e 4.9.2.8.2.

4.9.2.8.1 Nos casos de carga normal e ocasional, a tensão efetiva de compressão máxima no concreto σ_c não deve exceder a tensão de comparação admissível f_c , que é dada por:

a) no caso em que a superfície do concreto imediatamente abaixo da superfície de transmissão não é armada:

$$f_c = 0,325 \cdot f_{ck} \text{ , para } f_{ck} \leq 18,0 \text{ MPa ;}$$

$$f_c = 0,195 \cdot f_{ck} + 2,314 \text{ , para } f_{ck} > 18,0 \text{ MPa ;}$$

b) no caso em que a superfície do concreto imediatamente abaixo da superfície de transmissão é armada, conforme a figura 3:

$$f_c = \frac{f_{ck}}{2,1} \cdot \sqrt{\frac{ad}{a}} \leq 15,0 \text{ MPa}$$

Sendo:

$ad = 3 \cdot a$, no caso de: $e = a$;

$ad = a + 2 \cdot e$, no caso de: $e < a$.

Onde:

f_c é a tensão efetiva de compressão admissível;

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão;

a , ad é a dimensões conforme a figura 3;

e é o afastamento entre a face do concreto e o bordo extremo da viga de apoio.

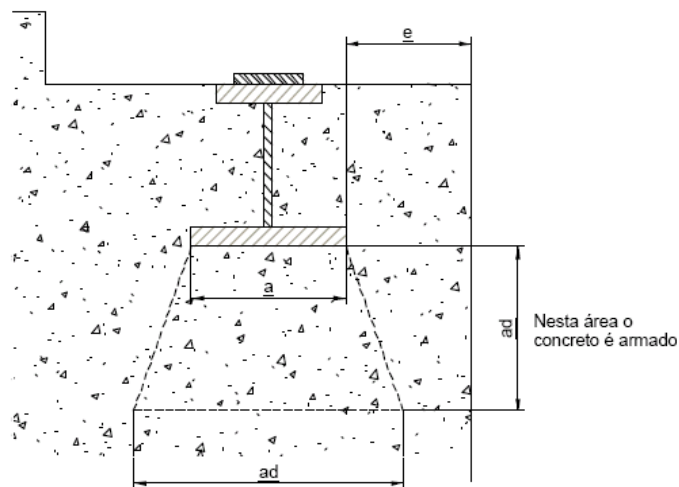


Figura 3 – Seção transversal do caminho de rolamento ou de deslizamento

4.9.2.8.2 No caso de carga excepcional, o valor da tensão efetiva de compressão admissível no concreto conforme 4.9.2.8.1 poderá ser aumentada em 20% ou por outro valor em comum acordo entre comprador e fornecedor.

4.9.2.9 O valor mínimo do afastamento “e”, conforme a figura 3, entre o bordo extremo da superfície de transmissão e a face externa do concreto é de 12 cm. Esta distância pode ser reduzida, se forem apresentados cálculos justificativos ou se houver chapa de proteção do canto (cantoneira de proteção) ou se houver ancoragem suficiente no concreto.

4.9.2.10 O fornecedor da comporta deverá fornecer os valores e sentidos dos esforços a serem transmitidos ao concreto para o dimensionamento da estrutura civil.

4.10 Dimensionamento dos componentes mecânicos

Os elementos mecânicos pertencentes à comporta como olhais, buchas, rodas, rolos, eixos, pinos, articulações, sapatas, cunhas, molas, rótulas, mancais, cilindro oleodinâmico, inclusive os sistemas de ligação com o circuito oleodinâmico (tubos e acessórios), devem ser dimensionados estática e dinamicamente, conforme disposto nesta subseção.

4.10.1 Olhais

Caso nenhuma outra verificação mais criteriosa for executada, os olhais de operação da comporta, inclusive os de ligação entre elementos, devem ser analisados quanto a sua tensão de tração e forma geométrica de acordo com as equações abaixo (ver figura 4).

$$S = \frac{F}{2 \cdot a \cdot t}$$

$$b \geq a$$

$$a \geq 0,4 \cdot d$$

Onde:

F é a força atuante no olhal;

a é o valor de cálculo conforme figura 4;

b é conforme figura 4;

t é conforme figura 4.

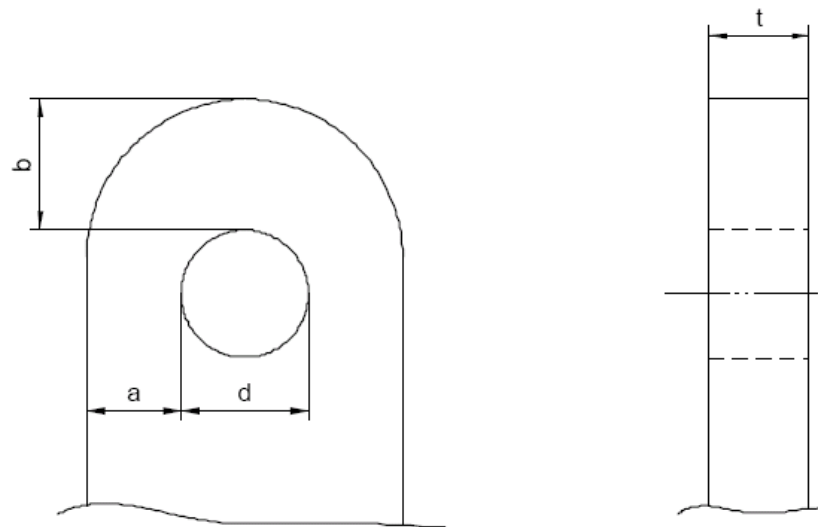


Figura 4 - Olhal

4.10.2 Buchas

As buchas são dimensionadas com base na tensão de compressão diametral (aqui designada por pressão na bucha), dada por:

$$p_b = \frac{F}{d \cdot L_b}$$

Onde:

p_b é a pressão na bucha (tensão de compressão diametral);

F é a força de dimensionamento;

d é o diâmetro interno da bucha;

L_b é o comprimento efetivo da bucha.

4.10.2.1 Pressão admissível nas buchas

Nos subitens seguintes são indicadas as pressões admissíveis nas buchas e as condições de aplicação, onde:

(HB bucha) é a dureza da bucha na escala *Brinell*;

p_{adm} é a pressão admissível na bucha nos casos de carga Normal e Ocasional, em [MPa].

O valor da pressão admissível nas buchas para o caso de carga excepcional, quando não especificado, deverá seguir as recomendações do fabricante das buchas.

4.10.2.1.1 Bucha de material não ferroso

A dureza *Brinell* mínima do eixo deve ser de 220 HB ou a tensão de ruptura mínima do eixo deve ser de 690 MPa. Valores menores poderão ser usados desde que sejam provados e acordados entre fornecedor e comprador.

4.10.2.1.1.1 A dureza Brinell da bucha deve ser menor que a do eixo.

4.10.2.1.1.2 Pressão admissível

A pressão admissível é o maior valor entre 15 MPa e 0,9 (HB bucha):

$$p_{adm} = \max (15 \text{ MPa} ; 0,90 \cdot (\text{HB bucha}))$$

Para buchas que giram em relação à carga o valor da pressão admissível deve ser reduzida em 50%:

$$p_{adm} = 0,45 \cdot (\text{HB bucha})$$

4.10.2.1.2 Bucha autolubrificante de material não ferroso com lubrificante sólido

A dureza *Brinell* mínima do eixo deve ser de 220 HB ou a tensão de ruptura mínima do eixo deve ser de 690 MPa. Valores menores poderão ser usados, desde que sejam provados e acordados entre fornecedor e comprador.

4.10.2.1.2.1 A dureza Brinell da bucha deve ser menor que a do eixo.

4.10.2.1.2.2 Pressão admissível

A pressão admissível é 45 MPa. Caso haja dados disponíveis a pressão admissível na bucha poderá ser maior que 45 MPa utilizando-se a pressão admissível dada pela seguinte fórmula:

$$p_{adm} = 1,30 \cdot (\text{HB bucha}) \cdot \left(\frac{1}{s}\right)^{0,2} ; \text{sendo: } s = \frac{n \cdot \varepsilon \cdot d}{2}$$

Onde:

s é o comprimento de deslizamento anual, em metros (o valor mínimo a ser adotado para s é de 3,0 m);

n é o número de movimentos em um ano;

ε é o ângulo de movimento em radianos;

d é o diâmetro interno da bucha, em metros.

Para buchas que giram em relação à carga o valor da pressão admissível deve ser reduzida em 50%.

4.10.2.1.3 Bucha de material plástico

Caso não haja uma comprovação através de cálculo ou de dados adicionais, a pressão admissível para buchas de materiais plásticos deve ser de:

$$p_{adm} = 6,0 \text{ MPa}$$

4.10.3 Anéis ou arruelas de encosto

Anéis ou arruelas de encosto sujeitos a forças normais ao seu plano médio, são dimensionados para a tensão média de compressão limitada aos valores admissíveis especificados em 4.10.2.1 para buchas do mesmo material.

4.10.4 Rodas de apoio

As rodas de apoio são analisadas através da pressão de *Hertz*.

4.10.4.1 Pressão admissível na roda cilíndrica no caso de carga normal

4.10.4.1.1 Para um número de ciclos (número de giros da roda) inferior a 100 000 ($N \leq 100\,000$), a pressão admissível é de:

$$p_{adm} = 5,4 \cdot HB$$

ou ainda pode-se usar:

$$p_{adm} = 1,85 \cdot S_{rup}$$

Onde:

HB é o menor valor da dureza na escala *Brinell* entre o conjunto roda e pista de rolamento;

Srup é o menor valor da tensão de ruptura entre o conjunto roda e pista de rolamento.

4.10.4.1.2 Para um número de ciclos (número de giros da roda) superior a 100 000 ($N > 100\,000$), a pressão admissível é de:

$$p_{adm} = 3 \cdot HB \cdot \sqrt[5]{\frac{2 \cdot 10^6}{N}}$$

Onde:

HB é o menor valor da dureza na escala *Brinell* entre o conjunto roda e pista de rolamento;

N é o número de ciclos.

4.10.4.2 Pressão admissível na roda cilíndrica no caso de carga ocasional

O valor da pressão admissível nas rodas de apoio para o caso de carga ocasional é 12% superior ao do caso normal.

4.10.4.3 Pressão admissível na roda cilíndrica no caso de carga excepcional

O valor da pressão admissível nas rodas de apoio para o caso de carga excepcional não é limitado.

4.10.4.4 Rodas mergulhadas sob forte correnteza

Para rodas mergulhadas e sob forte correnteza, o valor da pressão admissível no caso de carga normal e ocasional deve ser multiplicado pelo fator 0,9.

4.10.4.5 Pressão admissível na roda abaulada

Em rodas de superfícies de rolamento convexas com relação de raios inferior ou igual a 15:1, as pressões admissíveis de *Hertz* podem ser elevadas em 50% em relação às pressões admissíveis calculadas conforme 4.10.4.1 e 4.10.4.2.

5 Fabricação

5.1 Geral

5.1.1 Acesso

Se possível, a comporta e suas partes devem ser acessíveis. Para este propósito devem ser previstas escadas, passarelas, bocas de visita onde necessário.

5.1.2 Sala de comando

As salas devem ser ventiladas e ter drenagem para água.

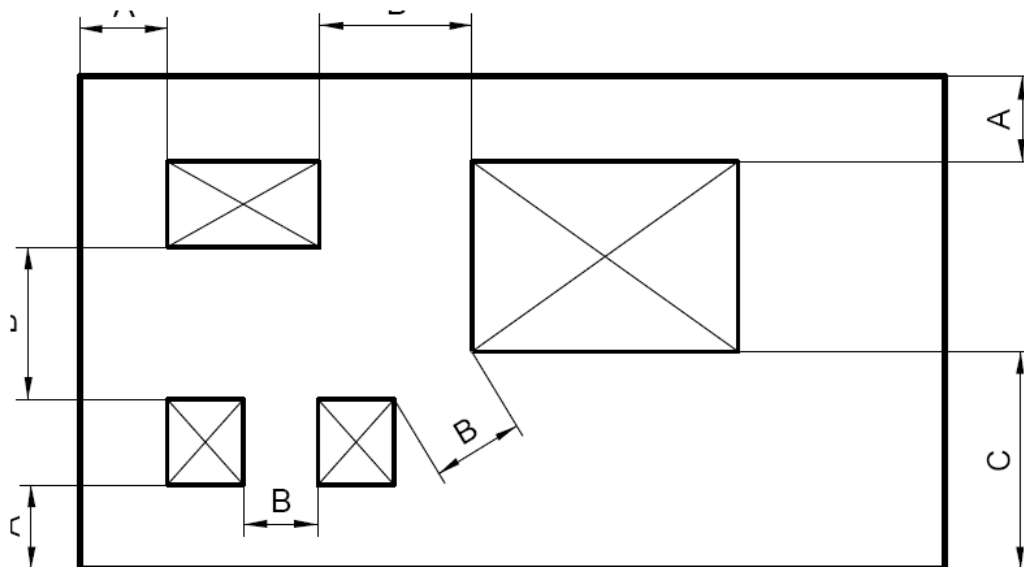
As salas de comando devem ter espaço suficiente para acomodar todos os equipamentos previstos e ter acesso suficiente para a operação e para as intervenções de manutenção e regulação dos componentes nela instalados.

As distâncias mínimas que devem ser consideradas na sala de comando são conforme a tabela 9 e figura 5.

As portas de acesso não devem interferir com o equipamento no interior da sala.

Tabela 9 – Distâncias na sala de comando

Distância entre parede e equipamento fixado no piso	400 mm
Distância entre equipamentos	800 mm
Distância entre parede oposta ao equipamento	1 000 mm



5.2 Materiais

5.2.1 Os materiais utilizados devem ser acompanhados de certificado do fornecedor que comprove as suas propriedades físicas e químicas. A utilização de materiais que não possuam certificados de qualidade está sujeita a uma comprovação com o mesmo volume de ensaios previstos para os materiais certificados.

5.2.2 Para os componentes secundários, tais como chumbadores, chapas de espera, contrapesos, etc., é suficiente um certificado do fornecedor contendo a composição química, o qual pode ser dispensado mediante acordo entre este e o comprador.

5.2.3 Para componentes soldados, devem ser utilizados materiais de uma classe de qualidade com soldabilidade comprovada.

5.2.4 Ensaios exigidos que não constam nas respectivas normas dos materiais devem ser previamente estabelecidos de comum acordo entre fornecedor e comprador.

5.3 Inspeção de materiais

5.3.1 Chapas, perfis e barras

5.3.1.1 Todas as chapas, perfis e barras com função estrutural devem ser qualificadas em suas composições químicas e propriedades mecânicas, comprovadas por meios de certificados de qualidade do material emitido pelo seu fornecedor ou através de ensaios específicos.

5.3.1.2 As chapas com espessura igual ou superior a 19 mm devem ser controladas através de ensaio de ultra-som.

5.3.1.3 Para caso de chapas grossas, o afastamento inferior permissível na espessura deverá ser conforme a NBR 11889. Exceções devem ser justificadas pelo fornecedor do equipamento.

5.3.2 Peças forjadas e fundidas

5.3.2.1 As peças forjadas ou fundidas devem ser qualificadas em suas composições químicas e propriedades mecânicas, comprovadas por meios de certificados de qualidade do material emitido pelo seu fornecedor ou através de ensaios específicos.

5.3.2.2 As peças forjadas devem ser submetidas à inspeção visual e por ultra-som após a usinagem bruta (desbaste).

5.3.2.3 As peças fundidas devem ser submetidas à inspeção visual e por ultra-som ou líquido penetrante após a usinagem bruta (desbaste).

5.3.2.4 Eventuais defeitos devem ser reparados, desde que não comprometam o desempenho e a segurança do equipamento. Estes reparos devem ser executados com controle de qualidade específico e sempre com o conhecimento e aprovação do pessoal do projeto.

5.3.3 Vedação

5.3.3.1 As vedações devem ser acompanhadas de certificados emitidos pelo fornecedor, contendo o tipo de material e os resultados dos seguintes ensaios, executados conforme normas específicas:

- a) tensão de ruptura;
- b) alongamento até a ruptura;
- c) módulo de elasticidade;
- d) dureza na escala *Shore*;
- e) tensão de ruptura após envelhecimento acelerado;
- f) absorção de água;
- g) compressão residual;
- h) resistência ao ataque de ozônio;
- i) inspeção visual e dimensional.

5.3.4 Outros componentes

5.3.4.1 Rodas, eixos, mancais, buchas principais, etc. devem ser submetidos à inspeção dimensional, após a usinagem final e antes de qualquer montagem em 100% dos lotes quando a fabricação é executada por processo não automatizado e por amostragem quando a fabricação é executada por processo automatizado (controle numérico). Os materiais devem ser acompanhados dos respectivos certificados de composição química e propriedades mecânicas.

5.3.4.2 Buchas, parafusos, chumbadores, etc. devem ser submetidos à inspeção dimensional por amostragem, após a usinagem final e antes de qualquer montagem. Os parafusos e porcas de alta resistência devem ser acompanhados dos respectivos certificados de composição química e propriedades mecânicas.

5.4 Soldas

5.4.1 Material

As características mecânicas das soldas devem ser superiores às do material base.

5.4.2 Indicações em desenho

As indicações, simbologia, de soldas nos desenhos deverão estar de acordo com a AWS A2.4.

5.4.3 Solda de filete

5.4.3.1 Soldas intermitentes só são permitidas quando houver uma efetiva proteção contra corrosão nas frestas entre cordões consecutivos. Peças embutidas no concreto não necessitam de proteção contra corrosão nas frestas entre cordões.

5.4.3.2 Soldas de filete em um só lado da peça soldada só serão permitidas em perfis fechados ou em partes embutidas no concreto.

5.4.4 Solda de topo

Emendas de partes com diferença entre espessuras maior que 3 mm devem ser biseladas na proporção 1:3.

5.4.5 Inspeção nas soldas

As soldas devem ser inspecionadas de acordo com a tabela 10.

Tabela 10 – Ensaios nas emendas soldadas

Posição	Tipo	Localização da junta	Ensaio
Solda de topo ou angular	Penetração total	Todas as estruturas	100% (RX ou US) e 100% (LP ou PM) e 100% EV
	Penetração parcial	Olhais de içamento Vigas de comportas e grades	100% (LP ou PM) e 100% EV
		Demais estruturas	25% (LP ou PM) e 100% EV
	Soldas de filete	Olhais de içamento Vigas de comporta e grade	100% (LP ou PM) e 100% (EV)
		Demais estruturas	10% (LP ou PM) e 100% EV
Juntas bimetalicas			100% (LP ou PM) e 100% EV
Juntas que requerem estanqueidade			

5.4.6 Critérios de aceitação das emendas soldadas

Os critérios de aceitação devem estar de acordo com a tabela 11.

Tabela 11 – Critério de aceitação nas emendas soldadas

Tipo de ensaio	Critério de aceitação	
	Norma	Item
PM - Partícula magnética	ASME VIII div.1, última ed.	apêndice 6
LP - Líquido penetrante	ASME VIII div.1, última ed.	apêndice 8
US - Ultra-som	ASME VIII div.1, última ed.	apêndice 12
RX - Radiografia	ASME VIII div.1, última ed.	UW 51 (b) e/ou UW 52 apêndice 4
EV - Exame visual e dimensional	AWS D1.1	

5.5 Tolerâncias

As tolerâncias de fabricação e de montagem devem ser escolhidas para garantir um bom funcionamento e estanqueidade.

5.5.1 Tolerâncias para dimensões lineares diversas

Quando não indicado, as dimensões lineares de caldeiraria e usinagem devem ser de acordo com a tabela 12.

Tabela 12 – Tolerâncias para dimensões lineares

Dimensões lineares											
Processo	-	>30	>120	>315	>1 000	>2 000	>4 000	>8 000	>12 000	>16 000	>20 000
	≤30	≤120	≤315	≤1 000	≤2 000	≤4 000	≤8 000	≤12 000	≤16 000	≤20 000	-
Caldeiraria	±1	±2	±2	±3	±4	±6	±8	±10	±12	±14	±16
Usinagem	±0,1	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5	±6	±6

5.5.2 Tolerâncias específicas

5.5.2.1 Tolerâncias lineares específicas

Para as tolerâncias dimensionais de fabricação e montagem na região de comporta fechada com vedação de borracha e para comprimentos até 10 m, podem ser considerados, onde aplicáveis, os valores das tabelas 13 e 14 para as peças fixas e para as comportas respectivamente. As figuras A.1 e A.2 do anexo A ilustram as tolerâncias para as peças fixas.

Tabela 13 – Tolerâncias lineares específicas para as peças fixas

Distância entre centros dos caminhos de rolamento ou deslizamento (Lap)	± 4 mm
Distância entre centros das superfícies de apoio de vedação lateral (Lv)	± 4 mm
Distância entre superfície da soleira e o centro da superfície de apoio da vedação superior (Hv)	± 4 mm
Distância entre superfícies das guias laterais (Lg)	+ 5 mm - 3 mm

Distância entre centros das superfícies de contraguia (Lcg)	$\pm 4 \text{ mm}$
Distância entre superfície do caminho de rolamento ou deslizamento e centro da guia lateral (L1)	$\pm 3 \text{ mm}$
Distância entre a superfície do caminho de rolamento ou deslizamento e superfície contraguia (L2)	$\pm 2 \text{ mm}$

Tabela 14 – Tolerâncias lineares específicas para as comportas

Distância entre superfícies de deslizamento dos patins laterais ou de rolamento das rodas de guia	$\pm 2.5 \text{ mm}$
Distância entre linhas de centro dos cutelos de apoio laterais	$\pm 4 \text{ mm}$
Distância entre linhas de centro das superfícies de apoio rodas principais	$\pm 4 \text{ mm}$
Distância entre superfícies dos patins laterais de apoio	$\pm 4 \text{ mm}$
Distância entre pinos ou chapas de suspensão	$\pm 4 \text{ mm}$
Distância entre superfície de contraguia e superfície de apoio (rodas ou cutelos)	$\pm 1 \text{ mm}$
Distância entre superfícies de apoio das vedações	$\pm 4 \text{ mm}$
Distância entre superfície de rolamento das rodas medidas em relação a um plano de referência	$\leq 0.5 \text{ mm}$
Variação do raio do paramento	$\pm 6 \text{ mm}$

5.5.2.2 Tolerâncias de forma e posição específicas

Para as tolerâncias de forma e posição, nas fases de fabricação e montagem, na região de comporta fechada, com vedação de borracha e para comprimentos de até 10 m, podem ser considerados, onde aplicáveis, os valores das tabelas 15 e 16 para as peças fixas e para as comportas respectivamente. As figuras A.1 e A.2 do anexo A ilustram as tolerâncias para as peças fixas.

Tabela 15 – Tolerâncias de forma e posição específicas para as peças fixas

Planeza das superfícies de apoio (lateral e inferior)	2 mm/m 3 mm no comprimento total
Planeza da superfície de apoio das vedações (lateral e inferior)	2 mm/m 3 mm no comprimento total
Paralelismo entre as superfícies das vedações laterais	3 mm
Paralelismo entre superfície de vedação e superfície de rolamento ou deslizamento	1 mm
Inclinação entre plano de soleira e o plano da superfície de apoio das vedações laterais	2mm
Retitude das guias laterais	2 mm/m 3 mm no comprimento total
Simetria em relação ao centro do vão	4 mm

Tabela 16 – Tolerâncias de forma e posição específicas para as comportas

Planeza dos cutelos laterais	2 mm/m 3 mm no comprimento total
Planeza do cutelo de apoio inferior	2 mm/m 3 mm no comprimento total
Planeza na base de fixação das vedações	3 mm/m 4 mm no comprimento total
Paralelismo entre as superfícies das vedações laterais	4 mm

5.5.2.3 Tolerâncias para comprimentos superiores a 10 m

Para dimensões maiores que 10 m as tolerâncias podem ser aumentadas conforme a seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{L}{10} \right)$$

Onde:

ε é a tolerância a ser determinada, em milímetros ;

ε_0 é a tolerância indicada para medidas até 10 000 mm, em milímetros ;

L é a medida considerada, em metros .

5.6 Proteção anticorrosiva

5.6.1 Deve ser elaborada uma especificação técnica para a proteção anticorrosiva dos equipamentos fornecidos.

5.6.2 A proteção anticorrosiva deve estar de acordo com a NBR 11389.

5.6.3 Poderão ser utilizados outros tipos de proteção, não prevista na NBR 11389 (proteção catódica, eletrodeposição), desde que acordado entre comprador e fornecedor.

5.7 Componentes mecânicos do acionamento da comporta

5.7.1 Parafusos

Devem ser de aço carbono com proteção catódica, como galvanização ao zinco, fosfatização ou outra ou ainda em aço inoxidável.

5.7.2 Buchas de material plástico

As folgas de projeto deverão levar em conta as diferentes capacidades de absorção de água destes materiais.

5.7.3 Cilindro oleodinâmico

Os cilindros usados para o acionamento de comportas devem ter as seguintes características:

- a) o cilindro ou partes do cilindro não devem estar submetidos ao fluxo d'água. Caso esta exigência não possa ser cumprida, deverá ser prevista estrutura adequada à proteção do cilindro;
- b) não é permitido o uso de suporte adicional (cilindro com três vínculos);
- c) as câmaras do cilindro devem sempre estar totalmente preenchidas com o fluido de trabalho;
- d) o cilindro deve possuir conexão para tomada de pressão em cada câmara, além das conexões de alimentação;
- e) o cilindro deve possuir conexão para desaeração em cada câmara, além das conexões de alimentação.

5.7.3.1 Corpo do cilindro

Pode ser com ou sem costura.

Tubos com costura devem ter soldas de penetração total e as recomendações da ASME VIII div. 1 devem ser seguidas considerando eficiência de solda igual a 1,0. Todos os componentes soldados ao corpo devem seguir as recomendações da ASME VIII div. 1.

A rugosidade interna do corpo deve ser de 0,4 micrometros, a menos que condições especiais previamente discutidas entre fornecedor e cliente sejam estabelecidas.

A superfície externa do corpo não precisa ser usinada, a menos que condições especiais sejam estabelecidas.

5.7.3.2 Haste do cilindro

A haste deve ser em aço inoxidável com ou sem revestimento ou em aço carbono com revestimento. O revestimento das hastes deve ser em cromo duro ou revestimento cerâmico. Outros revestimentos superficiais, empregados contra a corrosão e/ou para conferir dureza, podem ser usados, desde que previamente acordado entre cliente e fornecedor.

5.7.3.2.1 Dureza superficial da haste

5.7.3.2.1.1 Haste em aço inoxidável e sem qualquer proteção superficial adicional deve ter dureza superficial mínima de 220 *Brinell*.

5.7.3.2.1.2 Haste com revestimento de cromo ou cerâmico deve ter dureza superficial mínima de 600 *Vickers*.

5.7.3.2.2 Espessura do revestimento da haste

5.7.3.2.2.1 A espessura mínima da camada de cromo recomendada deve ser de 30 micrometros para diâmetro de hastes até 70 mm e de 50 micrometros para diâmetro de hastes maiores que 70 mm.

5.7.3.2.2.2 A espessura mínima da camada de cerâmica recomendada deve ser de 150 micrometros.

5.7.3.3 Flanges, tampas e êmbolo do cilindro

5.7.3.3.1 Podem ser fabricadas pelas seguintes matérias primas: chapa, fundido ou forjado.

5.7.3.3.2 O êmbolo deve ter a possibilidade de ser desmontado da haste.

5.7.3.3.3 Flanges e tampas podem ser soldados ou aparafusados ao corpo do cilindro.

5.7.3.4 Vedações, anéis e buchas do cilindro

5.7.3.4.1 Para o êmbolo e a haste deve-se preferencialmente usar vedações do tipo dinâmico (anéis V, U, *chevron*).

5.7.3.4.2 As vedações estáticas são feitas geralmente com anéis tipo "O" (*O'Ring*).

5.7.3.4.3 Todos os alojamentos para vedações devem ter convites apropriados à montagem e desmontagem das vedações.

5.7.3.4.4 Os anéis e buchas de guia devem preferencialmente ser de bronze, porém materiais plásticos são aceitos.

5.7.3.4.5 Sempre deverá haver um ou mais anéis raspadores para se evitar a entrada de sujeira no interior do cilindro.

5.7.4 Central oleodinâmica para o acionamento

O circuito oleodinâmico (válvulas, bombas, tubos) pode ser montado sobre o reservatório de óleo ou ao lado deste.

5.7.4.1 Desenho do esquema funcional

O desenho deve conter as seguintes informações:

- a) as características principais dos cilindros, bombas e reservatório (pressões nominais, velocidades, vazões, potências, capacidades);
- b) a identificação do fluido de trabalho;
- c) uma tabela de atuação de solenóides (movimento ou estado x atuação do solenóide);
- d) a identificação dos componentes elétricos deve ser igual à do circuito elétrico de comando e controle correspondente;
- e) o diâmetro externo e a espessura dos diversos tubos;
- f) as vazões existentes em cada ramo.

5.7.4.2 Reservatório do óleo

5.7.4.2.1 Construtivamente o reservatório deve conter no mínimo os seguintes componentes:

- a) boca de visita que permita o acesso a todo o interior do reservatório;
- b) bocal de enchimento;
- c) respiro com filtro;
- d) dreno do fluido;
- e) visor de nível.

5.7.4.2.2 O fundo do reservatório deve ter uma inclinação mínima de 1:40, para facilitar o esgotamento do fluido.

5.7.4.2.3 A distância mínima entre o piso de apoio e o fundo do reservatório deve ser de 150 mm.

5.7.4.3 Componentes

5.7.4.3.1 Os tubos para a condução do fluido devem ser sem costura.

5.7.4.3.2 Para sistemas que operem com reposição de óleo por movimentação do cilindro, o circuito oleodinâmico deve ser construído com componentes diretamente ligados à câmara de pressão do cilindro, que não possuam vazamentos (válvulas de assento cônico ou esférico).

5.7.4.3.3 Todos os componentes montados sobre a central oleodinâmica de acionamento, bem como aqueles montados entre a central e os cilindros, devem ser identificados, de acordo com o desenho do circuito, através de plaquetas de identificação apropriadas.

5.7.4.4 Vibrações

5.7.4.4.1 Para se minimizar as vibrações da unidade os seguintes cuidados devem ser tomados:

- a) grupos moto-bomba: devem ser montados sob base elástica absorvedora de vibrações. A ligação da saída da bomba ao circuito oleodinâmico deve ser através de mangueira para alta pressão;
- b) manômetros: devem ter sistema de amortecimento de vibração de ação comprovada (banho de glicerina, *gicleurs*, registros, base de fixação elástica, etc.);
- c) pressostatos: devem ser montados sob base elástica absorvedora de vibrações.

5.7.4.5 Filtros do óleo

A vazão nominal do filtro deve ser maior que três vezes a vazão máxima de passagem pelo filtro.

5.7.4.5.1 Filtro de retorno

É obrigatória a existência de filtro de retorno com malha de 10 micrometros ou inferior.

5.7.4.5.2 Filtro de pressão

O filtro de pressão poderá ser usado conforme as exigências do sistema e componentes (servo-válvulas e válvulas proporcionais).

5.7.4.5.3 Filtro de sucção

O filtro de sucção nas bombas deve ser evitado a menos que condições especiais sejam prescritas.

5.7.5 Interligação entre equipamentos oleodinâmicos do acionamento

As seguintes recomendações devem ser seguidas para a tubulação de interligação entre os equipamentos:

- a) os tubos devem ser sem costura;
- b) a espessura mínima dos tubos em aço carbono deve ser de 2,5 mm;
- c) a qualidade mínima do material dos tubos é o aço ASTM A106 grau B;
- d) as ligações entre tubos podem ser por flanges ou outro sistema comprovadamente eficiente. Para bitolas superiores de tubos de 1 ½ polegadas conforme ASME B36.10M Edition 00 e tubos mecânicos com diâmetro externo de 40 mm, é obrigatório o uso de ligações flangeadas;
- e) os flanges devem usar vedações do tipo anéis O'Ring. Não é permitido o uso de junta de papelão hidráulico ou similar nos tubos de condução do óleo;
- f) purgadores de ar manuais devem ser previstos nas regiões mais elevadas do circuito;
- g) as ligações com cilindros que se movimentam podem ser feitas através de mangueiras flexíveis ou tomadas rotativas;
- h) comportas operadas por mais de um cilindro (como é comum em comportas segmento), devem ter tubulação hidráulicamente simétrica (mesma perda de carga nos ramos dos cilindros), tanto no ramo de pressão como no de retorno. Caso isto não seja possível deve-se usar um sistema para a sincronização do curso dos cilindros.

5.7.6 Fluido de trabalho do acionamento

5.7.6.1 Deve ser compatível com as vedações, válvulas e acessórios.

5.7.6.2 Deve ser apropriado às temperaturas de trabalho além de ter as seguintes características:

- a) alto índice de viscosidade;
- b) aditivos: antiespumante, antidesgaste, anticorrosivo e para trabalho em alta pressão.

5.7.7 Pré-montagem e verificações de funcionamento na fábrica

5.7.7.1 Peças fixas de segundo estágio

As peças fixas de segundo estágio devem ser pré-montadas na fábrica. A posição de montagem pode ser no plano horizontal ou em qualquer outro, de acordo com as instalações e necessidades do fabricante.

Após a pré-montagem as peças devem ser identificadas, desmontadas e preparadas para o embarque.

5.7.7.2 Componentes montados nos painéis dos tabuleiros

Os componentes que são montados sobre o tabuleiro da comporta, tais como: vedações, patins, rodas, etc., devem ser pré-montados na fábrica.

Estes componentes podem ser embarcados já montados no tabuleiro ou separadamente, de acordo com a conveniência ou necessidade do comprador e do fornecedor.

5.7.7.3 Balanceamento na fábrica

5.7.7.3.1 Painéis sem adição de lastro no campo

Os painéis devem ser içados com todos os componentes pertencentes montados.

Após este içamento deve ser procedida a verificação do balanceamento e eventuais lastros deverão ser adicionados para o alinhamento do centro de gravidade.

5.7.7.3.2 Painéis com adição de lastro no campo

Os painéis deverão ser balanceados após a adição do respectivo lastro no campo.

5.7.7.4 Verificação do engate/desengate da viga pescadora

Todos os painéis (com todos os componentes montados) devem ser içados pela sua respectiva viga pescadora. O sistema de engate e desengate da viga deve ser verificado na fábrica.

5.7.7.5 Acionamento

O painel elétrico, a central oleodinâmica, o cilindro oleodinâmico e o indicador de posição devem ser verificados quanto ao seu funcionamento na fábrica. Devem ser realizados testes funcionais, de pressão e de tensão.

As verificações de cada equipamento podem ser feitas individualmente.

APÉNDICE B

MANUAL EM 1110-2-2702

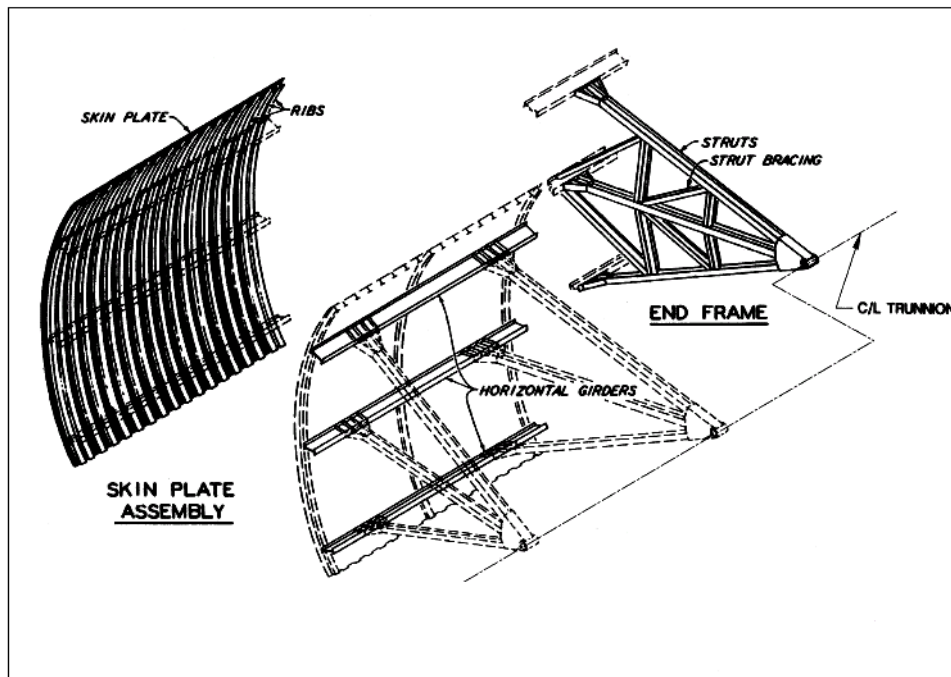


US Army Corps
of Engineers
ENGINEERING AND DESIGN

EM 1110-2-2702
1 January 2000

Design of Spillway Tainter Gates

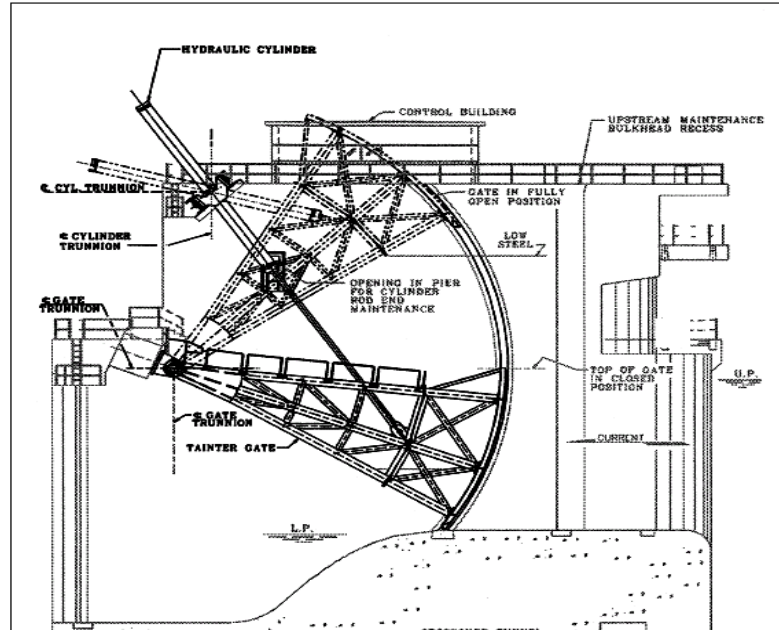
PRINCIPALES COMPONENTES DE LA COMPUERTA



EM 1110-2-2702
1 Jan 00

Figure 3-1. Primary tainter gate components

SISTEMA OLEO HIDRAULICO EN LA COMPUERTA



FUERZA DE FRICCIÓN POR LOS SELLOS

(e) Side-seal friction load F_s . Loads exist along the radius of the skin plate because of friction between the side seals and the side-seal plate when the gate is opening or closing. The friction force per unit length along the skin plate edge dF_s/dl is equal to the product of the coefficient of friction and normal force between the seal plates and the side seals. For rubber seals, a coefficient of friction (μ_s) equal to 0.5 is recommended. (Seals that have Teflon rubbing surfaces provide a lower coefficient of friction and are recommended for serviceability. However, wear of the Teflon is a concern, and applying a lower coefficient of friction for design purposes is not recommended.) The normal force on the side seal is a function of the preset force in the seal and the hydrostatic pressure on the surface of the seal. For normal tainter gate configurations, side-seal friction can be approximated by Equation 3-2 (Figure 3-9).

$$F_s = \mu_s S l + \mu_s \gamma_w \frac{d}{2} \left(l_1 \frac{h}{2} + h l_2 \right) \quad (3-2)$$

where

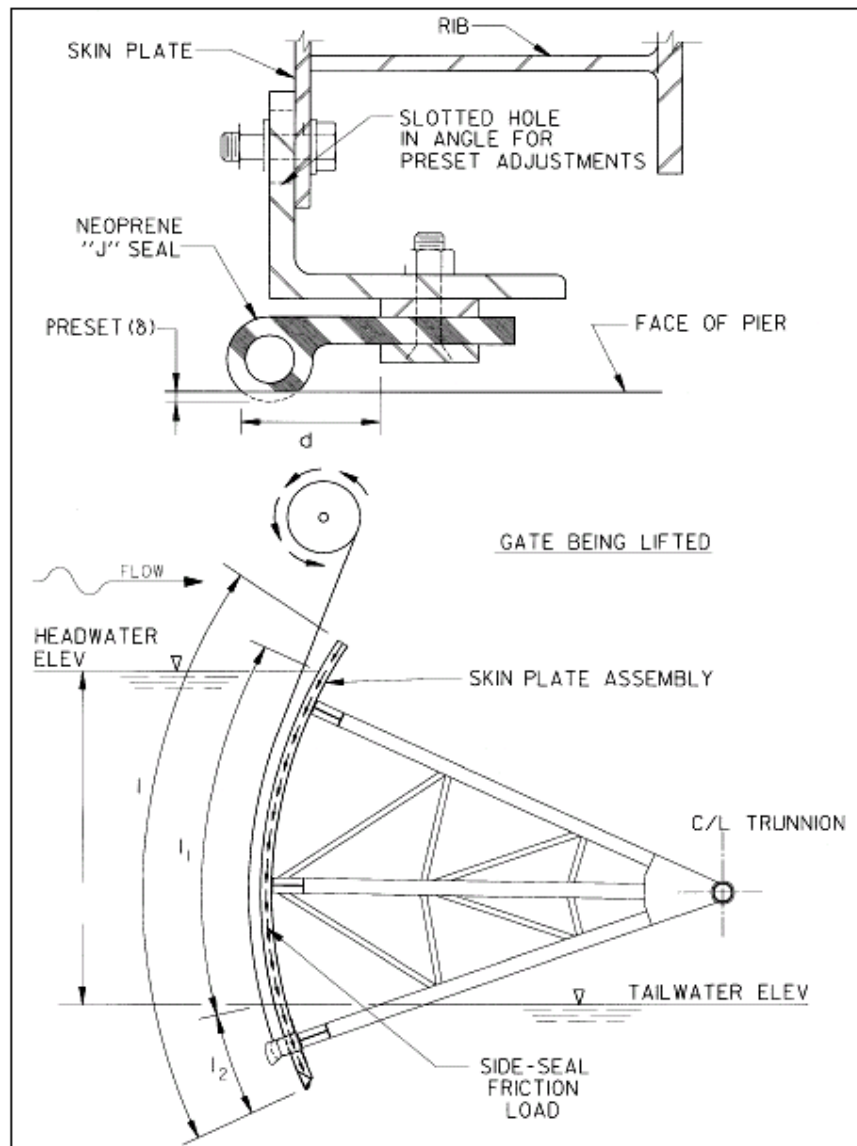
μ_s = coefficient of side-seal friction

l = total length of the side seal

l_1 = length of the side seal from the headwater to the tailwater elevations or bottom of the seal if there is no tailwater on the gate

l_2 = length of the side seal from the tailwater elevation to the bottom of the seal (equals zero if there is no tailwater on the gate)

S = force per unit length induced by presetting the seal and can be approximated as



$$S = \frac{3\delta EI}{d^3}, \text{ where } \delta \text{ is the seal preset distance}$$

γ_w = unit weight of water

d = width of the J seal exposed to upper pool hydrostatic pressure (Figure 3-9)

h = vertical distance taken from the headwater surface to the tail water surface or the bottom of the seal if there is no tailwater on the gate (Figure 3-9)

APÉNDICE C

LIBRO DE COMPUERTAS HIDRAULICAS DE FERREIRA ERBISTI

5.3 Chapa de Paramento

5.3.1 Espessura

A maior parcela de peso do tabuleiro reside na chapa de paramento. Assim, o projetista deve dedicar especial atenção ao seu dimensionamento a fim de obter a menor espessura possível compatível com a necessária resistência estrutural. De uma maneira geral, a menor espessura utilizada na chapa de paramento é de 8 mm que permite a soldagem dos elementos de reforço sem que ocorra grande empenamento da chapa. Nos casos particulares de pequenas comporta de superfície que recebam boa manutenção podem ser utilizadas chapas com 6,5 mm de espessura, desde que, durante a soldagem, sejam tomadas as devidas precauções para evitar distorções. Por outro lado, em comportas de alta pressão, são utilizadas chapas grossas, que podem atingir 40 mm de espessura, como no caso das comportas vagão das adufas de desvio da usina de Itaipu, com 6,5 m de vão e 22 m de altura, submetidas a 140 m de coluna d'água sobre a soleira.

A espessura da chapa é determinada por meio de estudos comparativos de custo entre as várias alternativas de espaçamento dos enrijecedores e vigas nela soldados.

5.3.2 Tensões de placa

De acordo com a norma NBR-8883, as tensões de flexão da chapa devido à atuação direta da pressão d'água são calculadas pela teoria da elasticidade, através da fórmula:

$$\sigma = \pm \frac{k}{100} p \frac{a^2}{t^2} \quad (5-3)$$

onde:

k = coeficiente adimensional dado pela Tabela 5-3, em função da relação entre as dimensões b e a dos módulos formados pelas vigas e/ou enrijecedores e das condições de apoio do módulo

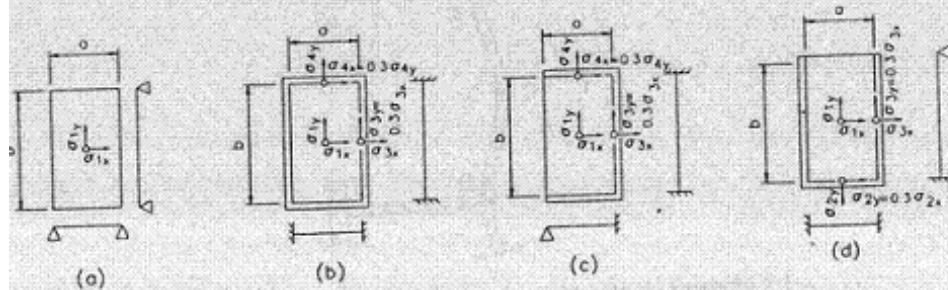
p = pressão hidrostática no centro do módulo

a = menor dimensão do módulo

t = espessura da chapa.

TABELA 5-3
Coeficiente k (NBR-8883)

b/a	4 lados apoiados		4 lados engastados				1 lado apoiado e 3 engastados							
	(a)		(b)				(c)				(d)			
	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$
∞	75,0	22,5	25,0	7,5	34,2	50,0	37,5	11,3	47,2	75,0	25,0	7,5	34,2	50,0
3,00	71,3	24,4	25,0	7,5	34,3	50,0	37,4	12,0	47,1	74,0	25,0	7,6	34,2	50,0
2,50	67,7	25,8	25,0	8,0	34,3	50,0	36,6	13,3	47,0	73,2	25,0	8,0	34,2	50,0
2,00	61,0	27,8	24,7	9,5	34,3	49,9	33,8	15,5	47,0	68,3	25,0	9,0	34,2	50,0
1,75	55,8	28,9	23,9	10,8	34,3	48,4	30,8	16,5	46,5	63,2	24,6	10,1	34,1	48,9
1,50	48,7	29,9	22,1	12,2	34,3	45,5	27,1	18,1	45,5	56,5	23,2	11,4	34,1	47,3
1,25	39,6	30,1	18,8	13,5	33,9	40,3	21,4	18,4	42,5	47,2	20,8	12,9	34,1	44,8
1,00	28,7	28,7	13,7	13,7	30,9	30,9	14,4	16,6	36,0	32,8	16,6	14,2	32,8	36,0



A deflexão máxima ocorre no centro da placa e é dada por:

$$f = \frac{\alpha p a^4}{E t^3} \quad (5-4)$$

onde:

E = módulo de Young;

α = coeficiente dado pela tabela 5-4, em função das dimensões da placa.

TABELA 5-4
Coeficiente α (Timoshenko)

b/a	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	∞
α	0,0138	0,0188	0,0226	0,0251	0,0267	0,0277	0,0284

A espessura do paramento influi diretamente no espaçamento máximo das vigas horizontais, isto é, quanto mais espessa a chapa, mais afastadas podem estar as vigas. Se o projeto prevê, por motivos construtivos ou econômicos, todas as vigas horizontais iguais,

5.3.3 Largura útil

O paramento atua como aba da seção das vigas do tabuleiro. A determinação da largura útil da chapa a ser adotada no cálculo das características da seção composta é feita conforme a norma NBR-8883, com o auxílio das figuras 5-4 e 5-5, em função da distribuição do momento fletor e do vão de apoio da chapa. A largura participante da chapa, em cada lado da alma, é igual a γB , onde:

- γ é o coeficiente de redução (adimensional) dado na figura 5-5 em função da relação L/B , em que L é a distância medida entre dois pontos consecutivos de momentos nulos. Na região entre os apoios, adota-se γ_I e na região dos apoios, γ_{II} ;
- B é a metade do vão da chapa medido entre duas vigas consecutivas ou enrijecedores, ou o vão em balanço.

A norma NBR-8883 estabelece uma limitação adicional da largura útil para as chapas que atuam como aba de vigas curvas, como as vigas verticais de uma comporta segmento. Esse valor limite é calculado por:

$$L_u \leq 1,56 \sqrt{Rt} \quad (5-5)$$

onde:

R = raio de curvatura da chapa;

t = espessura da chapa.

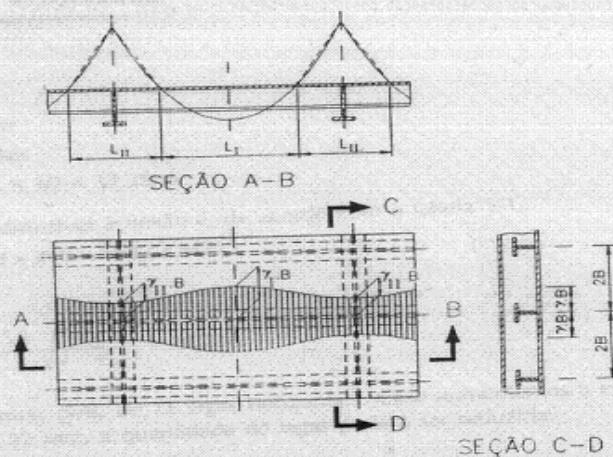


Figura 5-4 – Largura participante do paramento (NBR-8883).

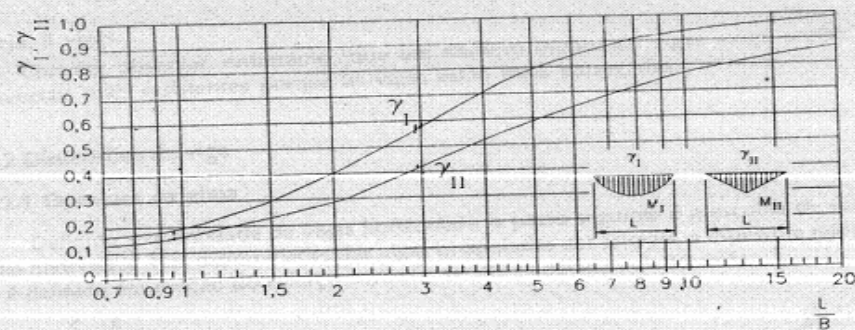
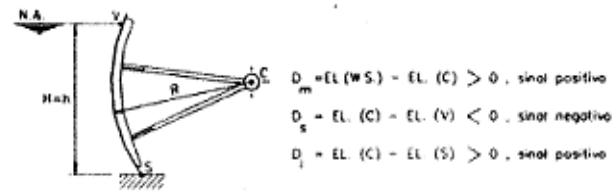
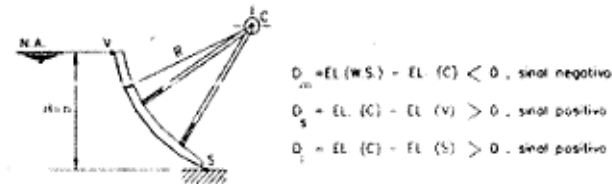


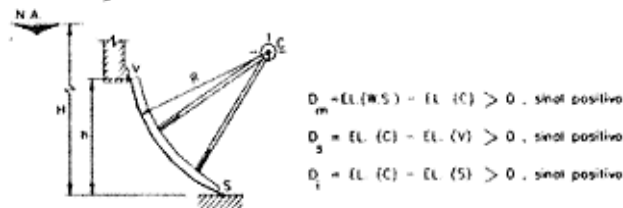
Figura 5-5 – Coeficientes de redução (NBR-8883).



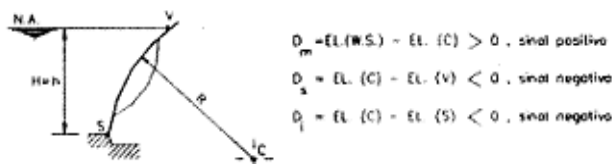
(a) Comporta segmento de superfície com centro de curvatura do parâmetro abaixo do N.A.



(b) Comporta segmento de superfície com centro de curvatura do parâmetro acima do N.A.



(c) Comporta segmento de fundo com centro de curvatura do parâmetro acima da vedação superior



(d) Comporta basculante com centro de curvatura do parâmetro acima do eixo de articulação

Figura 4-7 – Comportas radiais – Parâmetros para cálculo da carga hidrostática máxima (Equação 4-16).

- h = altura a vedar (ou altura da comporta sob carga);
 D_m = diferença entre a elevação do nível d'água e a do centro de curvatura do paramento ;
 α_s = $\text{arc sen } D_s/R$; (4-17)
 α_i = $\text{arc sen } D_i/R$; (4-18)
 D_s = diferença entre a elevação do centro de curvatura do paramento e a da vedação superior, em comportas de fundo e, no caso de comportas de superfície, a diferença entre o centro de curvatura do paramento e a do nível d'água;
 D_i = diferença entre a elevação do centro de curvatura do paramento e a da soleira.

Observação:

- a) D_m , D_s e D_i referem-se a diferenças de elevações e podem, pois, assumir sinal positivo ou negativo, dependendo do arranjo da comporta (ver Figura 4-7);
 b) os ângulos α_s e α_i são tomados em radianos nas equações acima e também podem ter sinal positivo ou negativo;
 c) o sentido da componente W_v é dado pelo sinal:
 - sinal positivo: W_v é dirigida para cima;
 - sinal negativo: W_v é dirigida para baixo.

De posse das componentes W_h e W_v podemos determinar o módulo e a direção da carga hidrostática máxima:

$$W = \sqrt{W_h^2 + W_v^2} \quad (4-19)$$

$$\beta = \text{arc tg } W_v / W_h \quad (4-20)$$

a) Braços paralelos à face do pilar:

- carga axial em cada braço superior

$$R_{s*} = \frac{W}{2} \frac{\text{sen } \gamma_i}{\text{sen } (\gamma_i + \gamma_s)} \quad (5-29)$$

- carga axial em cada braço inferior

$$R_{i*} = \frac{W}{2} \frac{\text{sen } \gamma_s}{\text{sen } (\gamma_i + \gamma_s)} \quad (5-30)$$

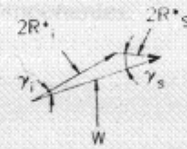
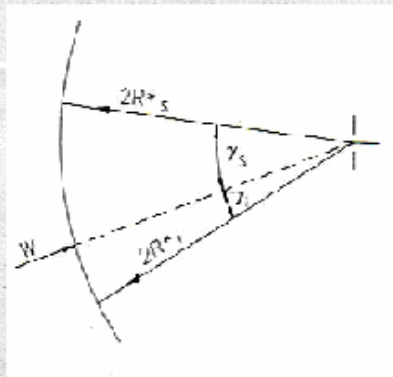


Figura 5-26 – Comporta segmento – carga nos braços.

b) Braços inclinados em relação à face do pilar:

- carga axial em cada braço superior

$$R_s = \frac{R_{s*}}{\cos \omega} = \frac{W}{2 \cos \omega} \frac{\text{sen } \gamma_i}{\text{sen } (\gamma_i + \gamma_s)} \quad (5-31)$$

- carga axial em cada braço inferior

$$R_i = \frac{R_{i*}}{\cos \omega} = \frac{W}{2 \cos \omega} \frac{\text{sen } \gamma_s}{\text{sen } (\gamma_i + \gamma_s)} \quad (5-32)$$

onde ω é o ângulo entre o braço e a face do pilar.

5.5.3.2 Cargas transmitidas aos mancais

Em comportas com braços inclinados em relação à face do pilar, a carga transmitida aos mancais pode ser decomposta em dois componentes ortogonais, F_n e F_r , cujos valores são:

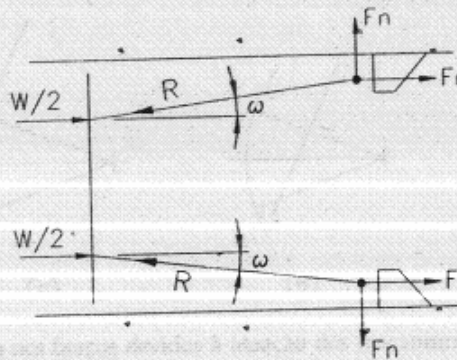


Figura 5-27 – Cargas nos mancais da comporta segmentada.

$$F_n = R \sin \omega \quad (5-33)$$

$$F_r = R \cos \omega \quad (5-34)$$

Por sua vez, temos

$$R = \frac{W}{2 \cos \omega} \quad (5-35)$$

Logo,

$$F_n = \frac{W}{2 \cos \omega} \sin \omega = \frac{W}{2} \operatorname{tg} \omega \quad (5-36)$$

$$F_r = \frac{W}{2 \cos \omega} \cos \omega = \frac{W}{2} \quad (5-37)$$

EXEMPLO 5-5

Calcular a carga axial nos braços e as componentes axial e radial da carga sobre os mancais da comporta segmentada da Figura 5-28, sabendo que a carga hidrostática máxima é $W = 18000 \text{ kN}$ e sua direção faz um ângulo de 10° com os braços superiores e de 18° com os inferiores. Os braços da comporta fazem um ângulo de 8° com a face do pilar.

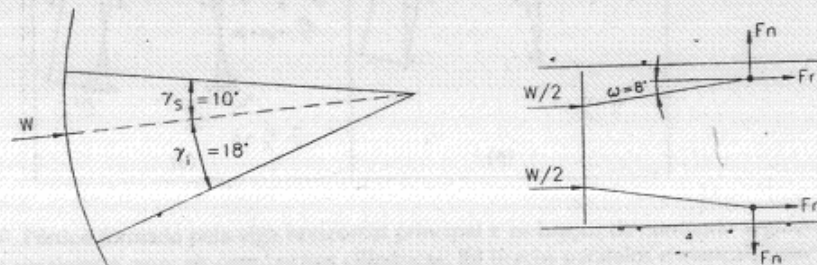


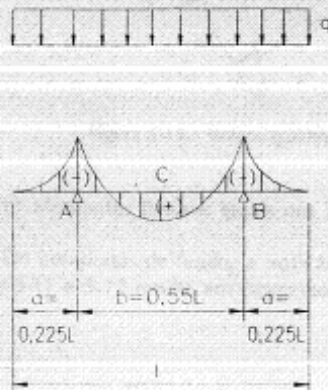
Figura 5-28

5.5.2.2 Vigas horizontais

O dimensionamento de vigas horizontais bi-apoiadas recai geralmente em um dos seguintes casos:

a) Conexões rotuladas

Ocorre quando o comprimento do trecho em balanço é feito igual a 0,225 vezes o comprimento da viga (ver Figura 5-12). Nestas condições, a tangente da elástica nos apoios será igual a zero, significando que não há transmissão de momento aos mesmos. O momento fletor será máximo nos apoios e igual a cerca de duas vezes o do ponto central da viga, em valor absoluto;



$$M_C = \frac{q}{8} (b^2 - 4a^2)$$

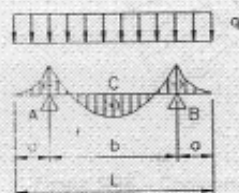
$$M_A = M_B = -\frac{qa^2}{2} = -0,0253 qL^2$$

$$f_C = 0,09 \frac{qL^4}{384 EI}$$

Figura 5-12 – Viga horizontal bi-apoiada, com conexões rotuladas.

b) Conexões rígidas

Ocorre sempre que o comprimento do trecho em balanço diferir de 0,225 vezes o comprimento da viga. No caso específico de $a = 0,207 L$ (ver Figura 5-13b), o momento fletor no centro da viga será igual em módulo (porém com sinal contrário) ao dos apoios A deflexão do ponto central da viga é bem superior à correspondente ao caso anterior de conexões rotuladas.

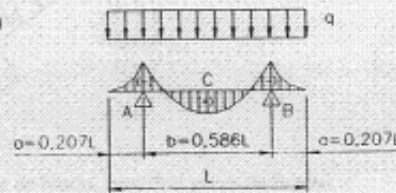


$$M_A = -M_B = -\frac{qa^2}{2}$$

$$M_C = \frac{q}{8} (b^2 - 4a^2)$$

$$f_C = \frac{qb^2}{384EI} (5b^2 - 24a^2)$$

(a)



$$M_A = -M_C = M_B = -\frac{qb^2}{16} = -0,0215 qL^2$$

$$f_C = 0,24 \frac{qL^4}{384EI}$$

(b)

Figura 5-13 – Viga horizontal bi-apoiada, com conexões rígidas.