

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.

Autor: Edison Vladimir Dávila Jaramillo¹.

Director de tesis: Ing. Ernesto Martínez L².

¹Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 2005, e-mail. edavila@espol.edu.ec

²Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, año 1983, e-mail. emartine@gu.pro.ec

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 camaroneras 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.

Summary.

The Repress New Simbocal is located in the mouth of the Chone River, in the Province of Manabí.

The estuary of the Chone River has one long trajectory of problems in its quality of water due the combination of climatic influences season and handling of the natural resources. The estuary is affected mainly by sediments due the erosion of hills and the development of swimming pools for shrimp fishers who bring with himself season climatic changes combined with a decrease in the flow of fresh waters and unloading of waters from sea the estuary. This water unloading from sea the estuary brings like result a variation in the salinity of the water which affects the vegetation, the organisms that live in her, some of which they adapt, have ample tolerances the salinity and temperature, whereas others cannot subsist in this means and die.

The present project consists of designing a floodgate that allows to dam the water of the Chone river at times where its volume with the purpose of maintaining a level diminishes controlled, besides to prevent that the water of sea is mixed with the one of the river to avoid changes in the salinity and that this floodgate will be had when excess of fresh water exists to avoid floods in the fields.

The design of form of the floodgate it was taken into accounts half-full the geometric ones from the dam to avoid disadvantages at the moment of his positioning in site.

The Methodology that will be followed in this thesis will consist of looking for manual, catalogues, norms that help us to the design of the same one if like obtained theoretical notes in classes, design books, of fluid, observations of other floodgates previously designed.

As result the planes of manufacture of each one of the elements of the floodgate for their future manufacture are obtained, the planes of design, bill of material, analysis of cost, the technical memory of the made calculations.

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 ocasiona al mezclarse el agua del mar con el agua del río, ocasionando un impacto ecológico en la degradación de las especies que habita en el río Chone, La metodología que se seguirá en esta tesis consiste en revisar modelos de compuertas ya existente, normas empleada 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 hidráulicos, 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 en Neopreno realiza el sellado necesariamente se utilizara acero inoxidable.

Contenido.

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

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 para desalojar el agua al mar para evitar inundaciones. Con estos parámetros se definirá la geometría y selección del material a emplearse con sus convenientes factores de seguridad.

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 | 2,5 m |



NORMATIVAS 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.

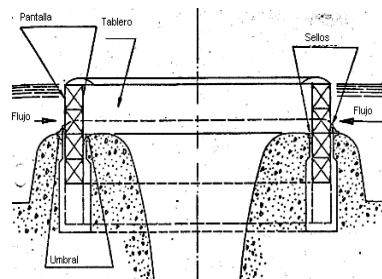
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS COMPUERTAS.

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.

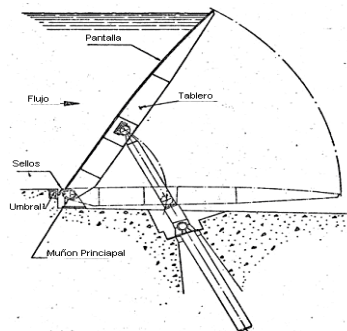
Entre los tipos de compuerta más utilizadas tenemos:

- **Compuerta tipo Anillo**



Las compuertas tipo anillo son utilizadas en la cresta de los vertederos en las presas que están equipadas con este tipo de vertedero.

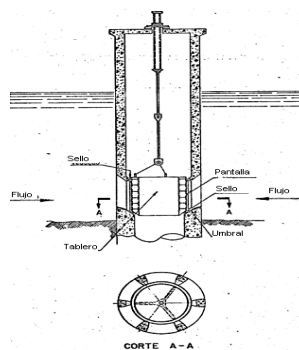
- **Compuerta tipo Basculante**



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 1.2 por la ubicación del gato hidráulico y debido al mismo peso de la compuerta.

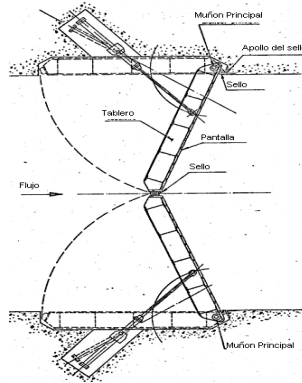
- **Compuerta tipo Cilindro**



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.

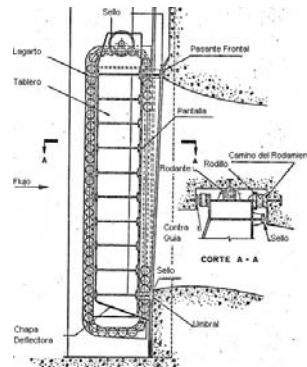
Estas compuertas son utilizadas en pozos de agua o petroleros, no son de gran tamaño.

- **Compuerta tipo Esclusa**



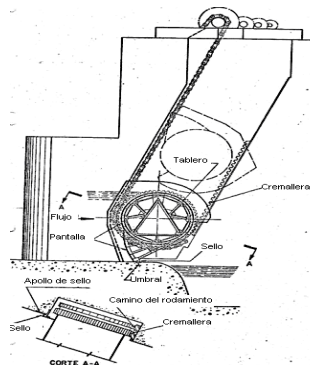
Las compuertas tipo esclusa tienen las bisagras verticales, son accionadas por medios mecánicos, o por pistones hidráulicos. La compuerta se abre para permitir el pasaje del buque. Solo puede ser abierta cuando los niveles de agua fuera y dentro de la esclusa se encuentran con pocos centímetros de diferencia.

- **Compuerta tipo Lagarto**



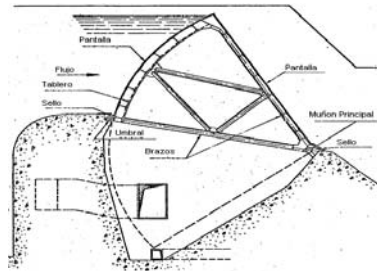
Las compuertas tipo "lagarto" son utilizadas para abrir o cerrar tomas en presión para descargas de fondo o para centrales hidroeléctricas.

- **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**

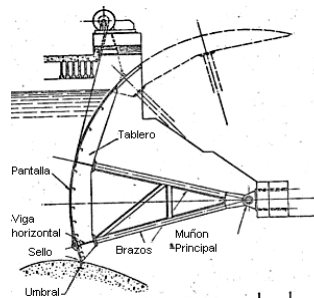


Compuerta utilizada en vertederos de presas, es operada utilizando el desnivel de agua creado por estas, no requiere de equipo mecánico para su operación.

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.

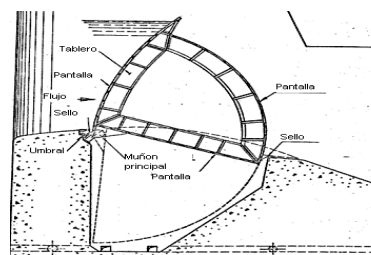
- **Compuerta tipo Segmento**



Las compuertas de segmento son muy utilizadas en la cresta de los vertederos de las presas. Antiguamente se movían jaladas por cadenas, mediante dispositivos instalados en los pilares del vertedero. Actualmente son accionadas mediante pistones hidráulicos o neumáticos.

Algunas compuertas de este tipo dispones, 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.

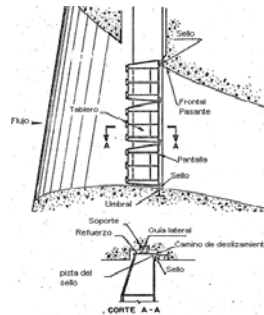
- **Compuerta tipo Tambor**



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**



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.

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.

DISEÑO DE FORMA DE LA COMPUERTA.

Una compuerta tipo Segmento Radial consta de los siguientes elementos:

- Pantalla
- Brazos
- Partes fijas
- Accionamiento

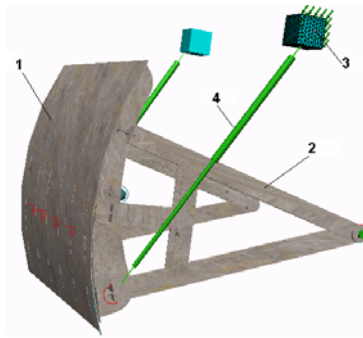
La pantalla de la compuerta se la elaborada de plancha de acero ASTM A36, se la reforzara mediante vigas horizontales y verticales que forman un conjunto rígido.

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.

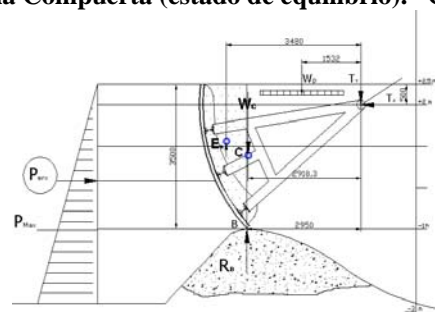
1. Pantalla
2. Brazos
3. Partes fijas
4. Accionamiento



CAPITULO 2

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA COMPUERTA.

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



$$\sum M_T = 0$$

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

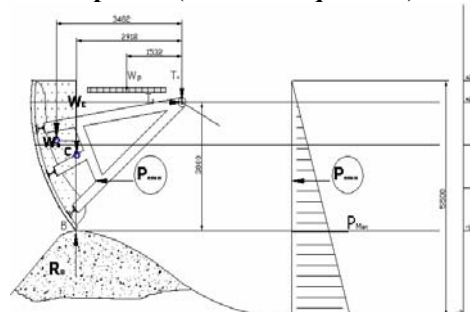
$$\sum F_x = 0$$

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

$$\sum F_y = 0$$

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

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



$$\sum M_T = 0$$

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

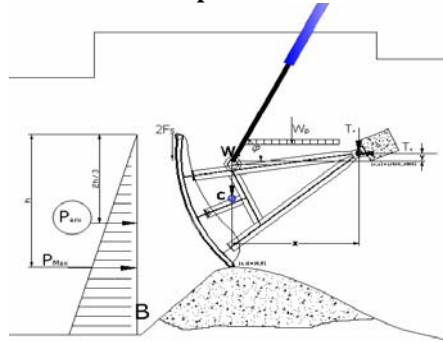
$$\sum F_x = 0$$

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

$$\sum F_y = 0$$

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

Fuerza ejercida por el gato hidráulico “compuerta cerrada”.



$$\sum M_T = 0$$

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

$$F_s = \mu_s s \cdot \lambda + \mu_s \cdot \gamma_w \cdot \frac{d}{2} \left(\lambda_e \cdot \frac{h}{2} + h \cdot \lambda_e \right)$$

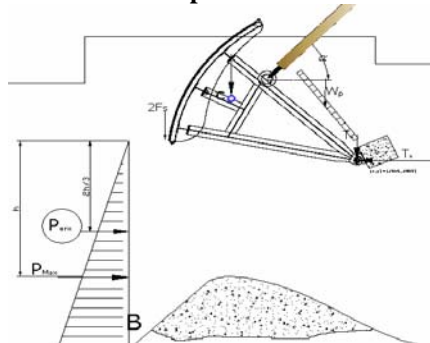
$$\sum F_x = 0$$

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

$$\sum F_y = 0$$

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

Fuerza ejercida por el gato hidráulico “compuerta abierta”.



$$\sum M_T = 0$$

$$W_c d_c - 2F_s r + W_p d_p - A \cdot \text{Sen}(\theta) \cdot (X_a) - A \cdot \text{Cos}(\theta) \cdot (Y_a) = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x - T_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

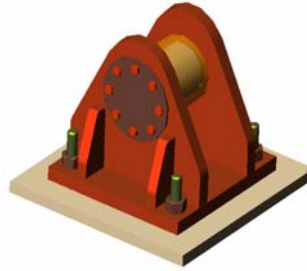
$$A_y - W_c - W_p + 2 F_s - T_y = 0$$

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE ELEMENTOS ARTICULADOS DE LA COMPUERTA

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

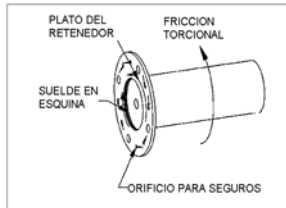
Carga transmitida al Muñón de Compuerta.



$$F_n = R \cdot \sin(\omega)$$

$$F_r = R \cdot \cos(\omega)$$

Eje del muñón de 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.

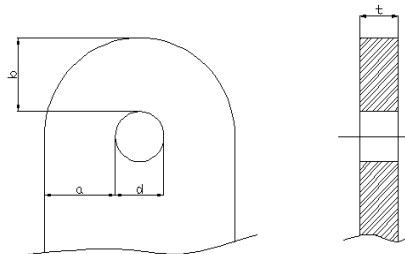
$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot S_e'$$

El factor de Seguridad viene dado por:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}$$

| DETALLE DEL EJE DEL MUÑÓN DE COMPUERTA | | | | | | |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| S_{ut} (Mpa) | 400 | AISI-1018 | $M_x = \frac{P_x \cdot L}{4}$ | Factores de Superficie K_a | 0,92 | |
| S_e' (N/cm ²) | 20160 | | $\sigma' = \frac{M_x \cdot c}{I}$ | a | 4,51 | |
| S_e (N/cm ²) | 11149,9 | | | b | -0,265 | |
| P_{max} (N) | 228077 | | | L (mm) | 200 | |
| P_{min} (N) | 33536 | | | | | |
| diámetro d (mm) | $I = \frac{\pi d^4}{64}$ (cm ⁴) | σ_{max} (N/cm ²) | σ_{min} (N/cm ²) | σ_a (N/cm ²) | σ_m (N/cm ²) | $\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}$ 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 |

Ojal del muñón.

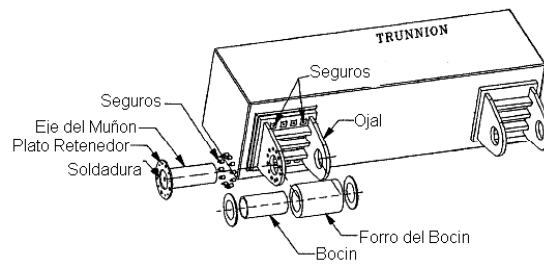


Se procede a calcular los esfuerzos en el metal base utilizando la norma NBR 8833- 4.10.1 que estipula lo siguiente:

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

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

Bocines para Muñones de Compuerta



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

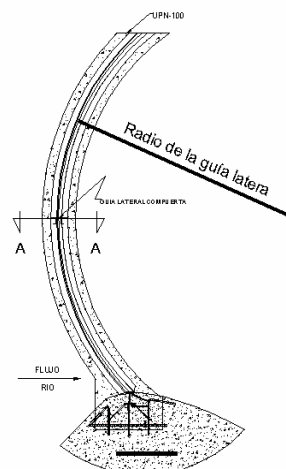
$$P_d = \frac{F}{d \cdot L_b}$$

CAPITULO 4

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE SUJECCIÓN DE LA COMPUERTA.

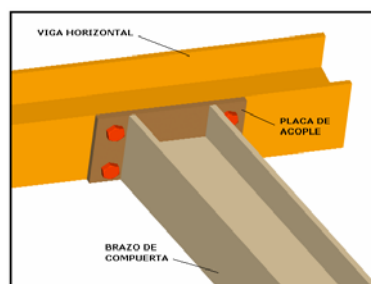
Estimación Geométrica de las Guías de Compuertas

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 4.1.



Cálculo de pernos de sujeción de la pantalla.

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



$$N = \frac{C \cdot \eta \cdot F}{S_p \cdot A_t - F_i}$$

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:

| Posición | Tipo | Localización de Junta | Ensayos |
|-------------------------------|---------------------|--|---|
| Soldadura de tope o angular | Penetración Total | Todas las estructuras | 100% radiografía o ultrasonido |
| | | | 100% tinta penetrante o partículas magnéticas |
| | Penetración | Ojales de izamiento | 100% inspección visual |
| | | Vigas de compuertas y nervios | 100% tinta penetrante o partículas magnéticas |
| | | Detalles de Estructura | 100% inspección visual |
| | Soldadura de filete | Ojales de izamiento | 100% tinta penetrante o partículas magnéticas |
| Vigas de compuertas y nervios | | 100% inspección visual | |
| Detalles de Estructura | | 10% tinta penetrante o partículas magnéticas | |
| Juntas bimetalicas | | | 100% inspección visual |
| Juntas que requieren rigidez | | | 100% inspección visual |

Tratamientos de Superficies y Pintado.

Todas las superficies a ser pintadas deberán ser debidamente limpias y exentas de costras de laminación, basura, herrumbre, betunes y otras substancias 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Debido a las condiciones hidrológicas del río Chone, al régimen de mareas y situaciones especiales de operación, podrán ocurrir situaciones de nivel máximo aguas arriba sin agua abajo o nivel máximo aguas abajo sin agua arriba. Las compuertas deberán poder operar satisfactoriamente en cualquiera de estas situaciones.

La pantalla será de construcción soldada, constituida por planchas roladas con radio externo constante y reforzada a aguas abajo por medio de vigas horizontales y verticales.

Para efecto de transporte, la pantalla será dividida en un número adecuado de paneles, cuya unión será efectuada en la obra por medio de soldadura.

La compuerta será prevista agujeros para drenaje, en los lugares donde pueda ocurrir acumulación de agua para evitar la oxidación en la misma.

La pantalla de la compuerta poseerá, de cada lado, de tres ruedas o zapatas de guía lateral, que servirá de apoyo en el caso de desequilibrio de la compuerta, evitando que la compuerta se atasque

en las condiciones normales de apertura y encierre, estas guías laterales no deberán entrar en contacto con las piezas fijas.

Las ruedas-guías que se utilizaran, serán de acero inoxidable laminado o forjado, montadas sobre bocines de bronce autolubricante con ejes de acero inoxidable.

Referencias.

- 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.

Ing. Ernesto Martínez L.

Director de Tesis