

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño estructural de una compuerta de control de paso de pequeñas
embarcaciones en un canal de ruta fluvial”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Boris Fernando Calle Fernández

Wilmer Josue Moran Caicedo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico con especial cariño y amor a mi familia, a mi madre por todo el apoyo y cariño brindado, a mi padre por siempre confiar en mi, a mi hermano por siempre estar a mi lado. Que todos los sacrificios que hicieron no fueron en vano.

A María José, Raffi y Firu gracias por existir y por compartir conmigo parte de este duro camino, a mis abuelos por siempre apoyarme y mostrarme su enorme amor, a mis amigos de la U por llevarme tan lindos recuerdos y a mis maestros los cuales me permitieron desarrollar mis habilidades y crecer como profesional y ser humano.

Boris Calle

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico principalmente a mi abuela, pilar fundamental de la persona que soy y todo lo que logre. A mis padres por sacrificarse toda la vida para darme la mejor educación posible, y a mis hermanos por ser toda la vida un gran apoyo.

A mis tíos Euclides, Onesima y Elena, por ser como mis padres cuando ellos no podían estar presentes.

Y finalmente a mis amigos por ser parte de mi felicidad, especialmente a quienes son como mi familia, Katherin y Doménica.

Wilmer Moran Caicedo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre Silvia por siempre ser mi apoyo incondicional y sacrificarse tanto por mi y para que pueda convertirme en profesional.

A mi padre Fernando por siempre confiar en mi y en mis capacidades, y enseñarme que la vida rendirse no es opción.

A la ESPOL por todos los años de conocimiento, experiencias y historias brindadas que me enseñaron a crecer como persona y profesional.

A la FIMCP por todos los servicios que me dio durante mi carrera que la hicieron fructífera y me permitieron sacar el mayor provecho de los conocimientos adquiridos.

A la vida por permitirme disfrutar de este momento.

Boris Calle

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por permitirme crecer de la mejor manera, recibiendo mucho cariño y permitirme ser muy feliz.

A la Espol, por hacerme crecer de la mejor manera como ser humano y como profesional.

A la facultad FIMCP y FIMCM, por su ayuda en el préstamo de herramientas para realizar este proyecto.

A mi tutor, por su gran paciencia y dedicación para que este proyecto sea completado de la mejor manera.

Y finalmente, a todos mis compañeros a lo largo de este largo trayecto universitario, porque sin ellos esto no sería posible.

Wilmer Moran Caicedo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Boris Fernando Calle Fernández y Wilmer Josue Moran Caicedo y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

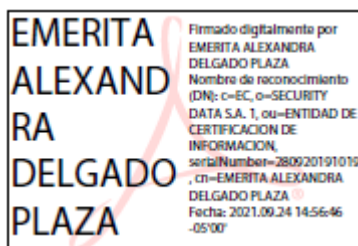


Boris Fernando Calle
Fernández



Wilmer Josue Moran
Caicedo

EVALUADORES



Phd. Emérita Delgado

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ANDRES
CUENCA CABRERA**

Msc. Carlos Cuenca

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño estructural de una compuerta que permita el control de paso de pequeñas embarcaciones a través de un canal fluvial en cualquier etapa del año al poder mantener el nivel de profundidad necesario, para esto se requiere determinar las cargas máximas que actúan en la compuerta, y en base a estas diseñar la geometría de la compuerta, así como la selección de los elementos mecánicos necesarios. Primero, se realizó la elección de la mejor alternativa de diseño para este caso específico, después, el cálculo teórico correspondiente a las cargas hidrostática y dinámicas por sismo y corriente en su magnitud máxima, de acuerdo a la normativa NBR-8883, posteriormente se determinó las posiciones de los elementos como está especificado en el libro de Erbisti, y con esto se analizaron los esfuerzos en cada tipo de elemento, para finalmente realizar la simulación por elementos finitos de la compuerta en Ansys, usando el modelo 3D generado en Rhinoceros. Como resultado se determinó el factor de seguridad de Von Mises, obteniendo un valor mínimo ante la parametrización de 1.29 en los refuerzos terciarios y después de parametrizar de 1.07 en los girders, logrando una reducción de 18 [Ton], por otro lado, un valor de 3.68 en los refuerzos secundarios. Concluyendo de esta manera que el diseño propuesto cumple con la normativa, y tiene potencial de optimización en los refuerzos secundarios, para lograr disminuir el peso de la compuerta y por consiguiente el costo de construcción.

Palabras Clave: Esfuerzo de Von Mises, simulación, refuerzos, parametrización.

ABSTRACT

This project deals with the structural design of a gate that allows the control of the passage of small boats through a fluvial channel at any stage of the year by being able to maintain the necessary depth level, for this it is necessary to determine the maximum loads that act in the gate and based on this design the geometry of the gate, as well as the selection of the necessary mechanical elements. First, the choice of the best design alternative for this specific case was made, then the theoretical calculation corresponding to the hydrostatic and dynamic loads by earthquake and current in its maximum magnitude, according to the NBR-8883 standard, later it was determined the positions of the elements as specified in Erbisti's book, and with this the efforts in each type of element were analyzed, to finally carry out the finite element simulation of the gate in Ansys, using the 3D model generated in Rhinoceros. As a result, the Von Misses safety factor was determined, obtaining a minimum value before the parameterization of 1.29 in the tertiary reinforcements and after parameterizing 1.07 in the girders, achieving a reduction of 18 [Ton], on the other hand, a 3.68 value in secondary reinforcements. Concluding in this way that the proposed design complies with the regulations, and has optimization potential in secondary reinforcements, to reduce the weight of the gate and consequently the cost of construction.

Keywords: *Von Misses effort, simulation, reinforcements, parameterization.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Fuerzas hidrostáticas.....	3
1.4.2 Clasificación de Tipos de costa.....	6
1.4.3 Clasificación de embarcaciones pesqueras.....	7
1.4.4 Tipos de compuertas	8
1.4.5 Sistemas de transmisión de potencia	11
CAPÍTULO 2.....	13
2. Metodología	13
2.1 Diseño Conceptual	14
2.1.1 Establecimiento de objetivos.....	14
2.1.2 Establecimiento de restricciones.....	15

2.1.3	Establecimiento de Funciones	15
2.1.4	Alternativas de solución	17
2.1.5	Selección de la mejor alternativa de solución	17
2.2	Diseño preliminar.....	18
2.2.1	Normativas.....	18
2.2.2	Criterio de falla.....	18
2.2.3	Geometría de la compuerta	19
2.2.4	Cargas en la compuerta.....	19
2.2.5	Esfuerzo y dimensiones de planchas.....	22
2.2.6	Refuerzos terciarios	24
2.2.7	Refuerzos principales	27
2.2.8	Refuerzos secundarios	31
2.3	Diseño detallado.....	32
2.3.1	Masa de la compuerta	32
2.3.2	Potencia para deslizamiento de la compuerta	34
2.3.3	Análisis de elementos finitos.....	36
CAPÍTULO 3.....		39
3.	Resultados y análisis	39
3.1	Resultados teóricos	39
3.1.1	Análisis de resultados de las cargas estáticas y dinámicas	39
3.1.2	Geometría de la compuerta	39
3.1.3	Elementos mecánicos seleccionados	40
3.2	Resultados simulación.....	40
3.2.1	Distribución de esfuerzos análisis sin parametrización	41
3.2.2	Distribución de esfuerzos análisis con parametrización.....	43
3.3	Análisis por criterio de falla.....	45
3.3.1	Factor de seguridad sin parametrizar	45

3.3.2	Factor de seguridad con parametrización	46
3.4	Análisis por factibilidad de construcción	47
3.5	Costo de construcción de compuerta	47
CAPÍTULO 4.....		49
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	49
4.1	Conclusiones.....	49
4.2	Recomendaciones.....	50

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ABNT	Asociación Brasileña de Normas Técnicas
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca
NEC	Norma Ecuatoriana de la construcción

SIMBOLOGÍA

ρ	Densidad
g	Gravedad
P	Presión
F	Fuerza
z	Profundidad
A	Área
H	Altura
B	Ancho
γ	Peso específico
V	Velocidad
σ	Esfuerzo
t	Espesor
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Mega pascal
Pa	Pascal
N	Newton
kN	Kilo Newton
C	Coeficiente de arrastre
kW	Kilo Watts
HP	Horsepower
Ton	Toneladas
Kg	Kilogramo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Centro de presión de una compuerta plana	5
Figura 1.2 Costa de México.....	7
Figura 1.3 Dimensiones y denominaciones de una embarcación.....	8
Figura 1.4 Compuerta tipo basculante.....	9
Figura 1.5 Compuerta tipo cilindro.....	9
Figura 1.6 Compuerta tipo esclusa.....	10
Figura 1.7 Compuerta tipo deslizante.....	10
Figura 1.8 Compuerta tipo lagarto.....	11
Figura 2.1 Diagrama de metodología del diseño estructural de una compuerta de control de de paso en un canal de ruta fluvial	13
Figura 2.2 Árbol de objetivos	14
Figura 2.3 Arból de objetivos y restricciones.....	15
Figura 2.4 Diagrama de caja negra	16
Figura 2.5 Diagrama de caja blanca.....	16
Figura 2.6 Cargas estatica y dinamica	21
Figura 2.7 Mapa factor sismisco.....	22
Figura 2.8 Vista frontal y lateral de refuerzos terciarios.....	25
Figura 2.9 Vista lateral del diagrama de refuerzo principal o girder.....	28
Figura 2.10 Sección transversal del refuerzo secundario.....	31
Figura 2.11 Catalogo de ruedas de Hierro Fundido.....	34
Figura 2.12 Modelo 3D de la compuerta	36
Figura 2.13 Presión hidrostática	37
Figura 2.14 Presión dinámica por corriente	37
Figura 2.15 Presión dinámica por sismo	37
Figura 2.16 Resultados de la parametrizacion de la pantalla de la compuerta.....	38
Figura 2.17 Vista ampliada de la conexión.....	38
Figura 3.1 Distribución de esfuerzos en la pantalla antes de parametrizar	41
Figura 3.2 Distribución de esfuerzos en los refuerzos principales antes de parametrizar	41
Figura 3.3 Distribución de esfuerzos en los refuerzos secundarios antes de parametrizar	42

Figura 3.4 Distribución de esfuerzos en los refuerzos terciarios antes de parametrizar	42
Figura 3.5 Distribución de esfuerzos en la pantalla	43
Figura 3.6 Distribución de esfuerzos en los refuerzos principales después de parametrizar	43
Figura 3.7 Distribución de esfuerzos en los refuerzos secundarios después de parametrizar	44
Figura 3.8 Distribución de esfuerzos en los refuerzos terciarios después de parametrizar	44
Figura A.1 Coeficientes para esfuerzos admisibles	53
Figura A.2 Coeficientes k para esfuerzos en elementos tipo plancha	53
Figura A.3 Motor seleccionado	54
Figura A.4 Cotización de material.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Embarcaciones pesqueras en Ecuador.....	7
Tabla 2.1 Cuadro de comparación entre objetivos principales	15
Tabla 2.2 Cuadro de comparación entre criterios de selección	17
Tabla 2.3 Criterios de ponderación.....	18
Tabla 2.4 Matriz de decisión de la mejor alternativa de solución.....	18
Tabla 2.5 Calculo de inercia, y modulo resistente elástico de refuerzos terciarios	26
Tabla 2.6 Centroide y profundidad de áreas.....	28
Tabla 2.7 Ancho efectivo por cada seccion de área	28
Tabla 2.8 Calculo de inercia, y modulo resistente elástico de girders	30
Tabla 2.9 Calculo de inercia, y modulo resistente elástico de refuerzos secundarios ...	32
Tabla 3.1 Costos de elementos y manos de obra de la estructura de una compuerta individual antes de parametrización	48
Tabla 3.2 Costos de elementos y manos de obra de la estructura de una compuerta individual despues de parametrización.....	48

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Vistas de la Compuerta

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador, al ser un país que posee un límite costero, tiene una gran parte de su economía ligada al recurso marítimo, del cual se benefician productores a gran escala, y pescadores a mediana y pequeña escala, así como la industria turística. Sin embargo, las pequeñas y medianas embarcaciones son las que tienen mayores problemas en su operación, debido a que están limitados por la geografía del lugar, del cauce de los ríos y sus equipos y barcos.

De igual manera embarcaciones más grandes se ven impedidas debido a la geografía a tomar rutas de mayor distancia a puertos de interés y claves para el desarrollo del país.

Por consiguiente, la construcción de un canal que permita el paso entre dos cauces agilizaría la circulación, disminuirían los gastos, y permitiría un mejor comercio, teniendo como consecuencia una mejor economía.

En cuanto a la forma de como este canal debe estar controlado, se realizará mediante compuertas que permitan el control del nivel del agua entre los dos puntos, ya que no siempre se encontrarán al mismo nivel y podrían causar inundaciones o no tener el nivel suficiente para el paso de las embarcaciones.

1.1 Descripción del problema

La falta de compuertas hidráulicas para la construcción de canales más amplios, los cuales faciliten el transporte buques de una manga entre 8 a 10 metros, con una capacidad de carga de 400 a 600 m³, que debido a la geografía del lugar debe recorrer una mayor distancia elevando los costos de combustible, equipos y personal.

Si se abren rutas comerciales marítimas en lugares claves en la costa del Ecuador como lo son los puertos de Posorja, Manabí, Esmeraldas, Machala

y Guayaquil. Respecto a los aspectos culturales esperamos fomentar un mayor crecimiento a la investigación y las ciencias, en lo Económico esperamos generar ingresos a partir de fuentes de empleo y sistemas fluviales capaces de generar desarrollo en la región.

En cuanto a los aspectos técnicos el hacer uso de normas que ya se han desarrollado en el transcurso de los años para el diseño de estructuras metálicas, en lo ambiental se busca causar el menor impacto posible sobre la flora y fauna de la región. Para finalizar los aspectos de Salud Pública, Seguridad y Bienestar pese a que no son directamente definidos en este proyecto, ellos se verán beneficiados del desarrollo de los aspectos previamente mencionados.

1.2 Justificación del problema

Considerando la importancia que tienen las exportaciones para la economía de Ecuador, los puertos marítimos toman un rol económico muy importante, ya sean marítimos o fluviales, para su desarrollo del País. Motivo para facilitar rutas comerciales mediante un canal que genere un ahorro tiempo y recursos.

El puerto de Guayaquil es el más importante y con más exportaciones de país, movilizándolo el 70 % de su comercio exterior, si tomamos en cuenta el gran número de puertos que existen en la extensión de la costa ecuatoriana la capacidad de repetición y aplicación de este proyecto en nuestra costa nacional es muy alta.

Un ejemplo de la factibilidad de este proyecto está en Huaquillas, en el sector de Buenos Aries, lugar cercano a Perú, por lo que la construcción de un canal permitiría el desarrollo de nuevas rutas marítimas, fomentando así desarrollo comercial y económico a las poblaciones cercanas.

El poder controlar el caudal de un río con desembocadura al mar, abre un sin número de oportunidades a un mejor tránsito de embarcaciones, además

de una mejor regulación de las entidades costeras que muchas veces tiene problemas el poder brindar seguridad a las embarcaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el diseño estructural de una compuerta ubicada en un canal de control fluvial que permita la circulación de pequeñas embarcaciones entre tramos de ruta con diferente nivel de marea.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las cargas estáticas y dinámicas que soporta la estructura de la compuerta según la zona de análisis donde se encuentran ubicadas.
- Diseñar la geometría de las compuertas utilizando las cargas máximas que estas deben soportar.
- Seleccionar los elementos mecánicos adecuados para cumplir con el diseño propuesto.
- Realizar una simulación utilizando el método de elementos finitos para validar los resultados.
- Realizar un modelo geométrico 3D de la compuerta con los respectivos planos de distribución estructural de la compuerta.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Fuerzas hidrostáticas

Se conoce como fuerzas hidrostáticas a la distribución de fuerza que actúan normalmente sobre una superficie sumergida en un líquido. Esta distribución de fuerza a su vez determina la presión sobre dicha superficie. Sin embargo, para el análisis estático es conveniente realizar el reemplazo de estas fuerzas distribuidas por una sola fuerza equivalente

ubicada en un lugar específico para que sus efectos resulten iguales a los generados por las fuerzas distribuidas, (Diaz, 2006). Aun así, la validación de los resultados debe ser realizada con carga distribuida.

Para un fluido con velocidad constante o en reposo, la distribución de la presión está determinada por la ecuación 1.1. Dicha expresión es válida para cualquier tipo de fluido, teniendo en cuenta solo su densidad. Esto denota que a mayor densidad del fluido, mayor presión soportará la superficie en contacto.

$$\Delta P = \rho g z \quad (1.1)$$

Donde:

ΔP : Presión hidrostática [Pa]

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3]

g : Gravedad [m/s^2]

z : Profundidad [m]

La fuerza resultante hidrostática varía según la geometría de la superficie, profundidad, las propiedades del líquido, y de la inclinación. Todas estas condiciones influyen en la distribución de fuerzas sobre la superficie, y determinan el modo de análisis de la misma, como la ubicación del centro de presión en la compuerta, (Mott, 2006).

Para una compuerta plana, sin inclinación, la presión hidrostática que actúa sobre ella solo genera una componente horizontal de fuerza hidrostática. Teniendo en cuenta que la presión, es la relación entre la fuerza actuante y la superficie sobre la que actúa. La expresión para la fuerza hidrostática está determinada por la ecuación 1.2, (White, 2003).

$$F_H = \rho g z A \quad (1.2)$$

Donde:

F_H : Fuerza hidrostática [N]

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3]

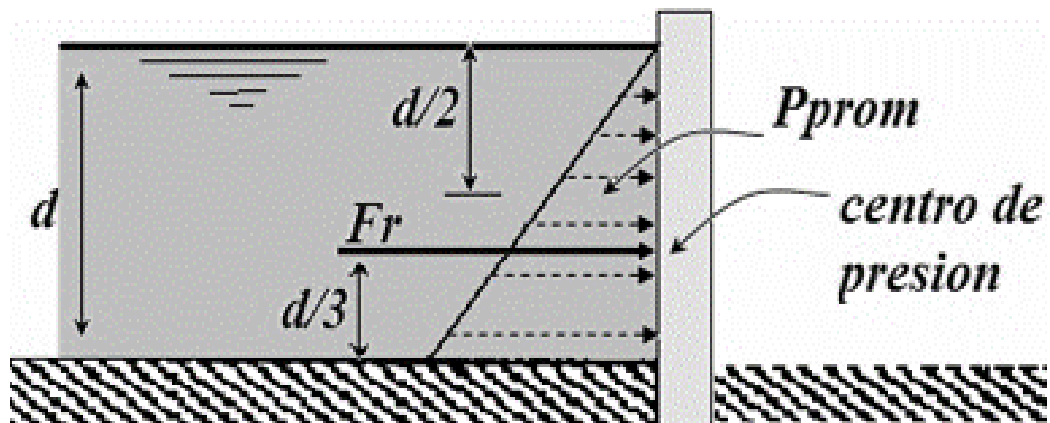
g : Gravedad [m/s^2]

z : Profundidad [m]

A : Área sumergida [m^2]

En caso de ser una compuerta con inclinación, la fuerza hidrostática resultante posee dos componentes, una horizontal calculada con la ecuación 1.2, usando un área proyectada de la superficie; y, una fuerza vertical resultante del peso del fluido sobre la superficie, y de ser el caso, la fuerza de empuje sobre el líquido.

La fuerza resultante se ubica en el centro de presión de la superficie, este es calculado a partir de la distribución de fuerzas o presión sobre el área sumergida. En la figura 1.1, se muestra un ejemplo de la ubicación del centro de presión según una compuerta plana, donde además, se da a notar que la ubicación del centro de presión coincide con el centroide de la distribución de la presión hidrostática, esto es válido para todo caso.



Fig

Figura 1.1 Centro de presión de una compuerta plana

Fuente: Mecánica de fluidos de White

1.4.2 Clasificación de Tipos de costa

Entre los tipos de costas secundarias que existen en nuestro país que se forman por procesos marinos y colonización de organismos. Se clasifican de la siguiente manera:

a. Costas erosivas por oleaje

- **Costas rectas** acantilados
- **Costas irregulares** donde el oleaje ha creado numerosas bahías y salientes

b. Costas marinas deposicionales

i. Costas de barrera

- **Playas de barrera** barra única
- **Islas barreras** varias barras, dunas
- **Flechas** conectadas a tierra
- **Barreras cerradas** cortan la comunicación con el océano totalmente

ii. Cabos salientes pronunciadas

iii. Planicies costeras difieren de las barreras por no tener laguna adyacente

iv. Pantanos y esteros formados a lo largo de costas deltaicas u otras costas de baja elevación)

c. Costas colonizadas por organismos

i. Arrecifes de coral

ii. Manglares

iii. Pastos marinos

De acuerdo con esta clasificación, los tipos de costas que se pueden observar a lo largo del litoral del país en la figura son: del tipo 2 (procesos marinos), costas erosivas rectas (acantilados), costas deposicionales como las costas de barrera, y costas colonizadas por organismos como arrecifes de coral, manglares y pastos marinos. Se puede observar, que la

mayoría de estos corresponden al tipo 2, es decir son costas generadas (y modificadas) por procesos marinos.



Figura 1.2 Costa de México

Fuente: Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable

1.4.3 Clasificación de embarcaciones pesqueras

Las embarcaciones pesqueras en Ecuador, según el (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2010), y dimensiones principales de acuerdo con el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, se presentan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Embarcaciones pesqueras en Ecuador.

Tipo	Descripción	Dimensiones
Balsa	Consta de la unión de troncos de balsa por medio de trincas, pernos o maderos.	<i>Manga:</i> 0.86 m <i>Puntal:</i> 0.45 m
Bongo	Su estructura es de mayor continuidad. Es característica por su manga estrecha.	<i>Eslora:</i> 4.8 m
Canoa	Similar al Bongo, pero con una mejor construcción, su propulsión poder ser por medio de remo, vela o motor.	<i>Manga:</i> 1.45 m <i>Puntal:</i> 0.6 m <i>Eslora:</i> 7.5 m
Panga	Es una embarcación mas compleja, es característica por su casco plano y proa	<i>Manga:</i> 1.65 m <i>Puntal:</i> 0.96 m

	pronunciada.	<i>Eslora:</i> 7.9 m
Bote de madera	De geometría similar a la panga, pero con un casco semi redondo o en forma de V.	<i>Manga:</i> 1.25 m
Bote de fibra de vidrio	Posee compartimientos en popa, y proa, para el guardado de captura y arte de pesca respectivamente.	<i>Puntal:</i> 0.6 m <i>Eslora:</i> 7.65 m
Balandra	La principal característica de esta embarcación es la presencia de un mástil alto	
Barco	Posee un mástil, pluma, puente de gobierno, cubierta principal y los instrumentos de captura.	<i>Manga:</i> 5.6 m <i>Puntal:</i> 2.2 m <i>Eslora:</i> 18.3 m

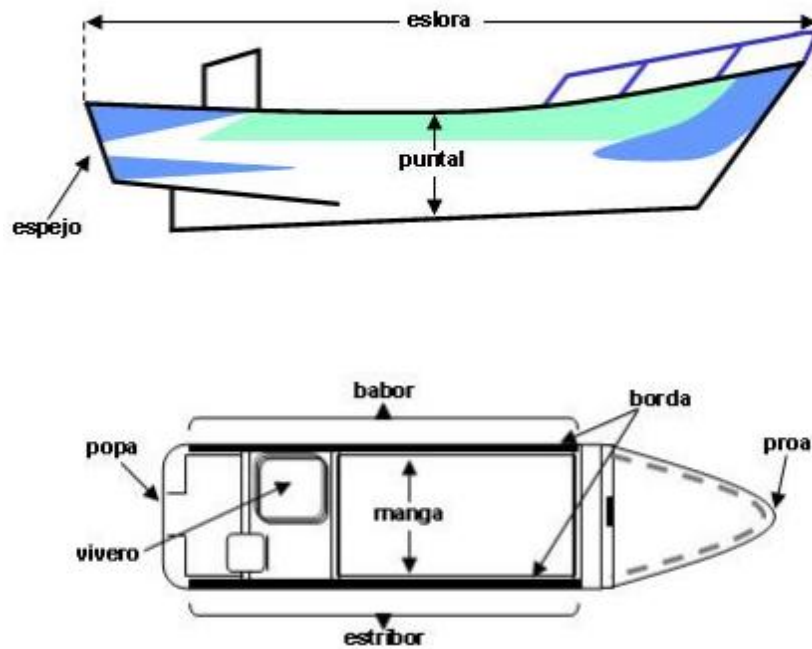


Figura 1.3 Dimensiones y denominaciones de una embarcación

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca

1.4.4 Tipos de compuertas

Las compuertas hidráulicas son estructuras diseñadas para el control de nivel y caudal de un fluido, en represas, y cauces naturales de agua. Existen diversos tipos según la función que realizan, tamaño, lugar de ubicación, mecanismo de apertura, y otras condiciones de operación, (Erbisti, 2014).

Entre las mas utilizadas están las siguientes:

- **Tipo Basculante:** Puede ser instalada para el control del vertedero en la cima de una presa, así como para el control de nivel de agua en cauces de agua, como ríos o canales. Normalmente, es utilizada en este ultimo caso debido al peso de la estructura.

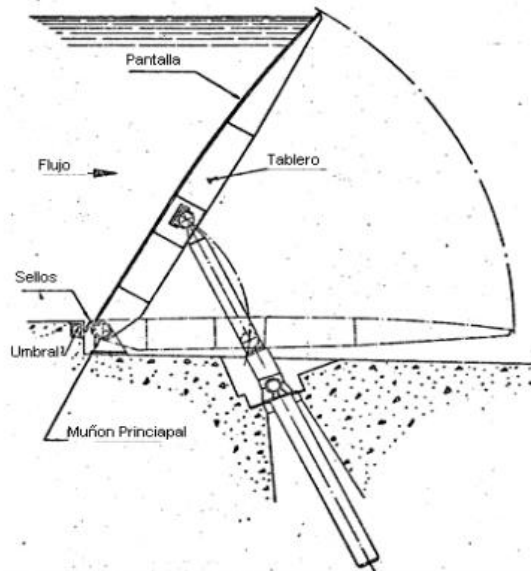


Figura 1.4 Compuerta tipo basculante

- **Tipo Cilindro:** Consta de una pantalla en forma de cilindro con un árbol central que realiza un movimiento de translación longitudinal que permite el control del cierre y apertura de la compuerta.

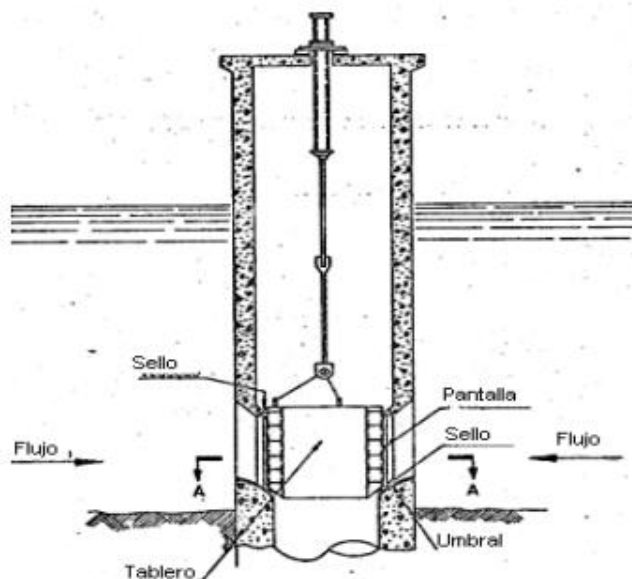


Figura 1.5 Compuerta tipo cilindro

- **Tipo Esclusa:** Esta conformada por un par de compuertas radiales que realizan un movimiento de abate horizontal por medio de dos bisagras verticales, y un sistema mecánico o hidráulico. Comúnmente utilizadas para el control de movilización de buques.

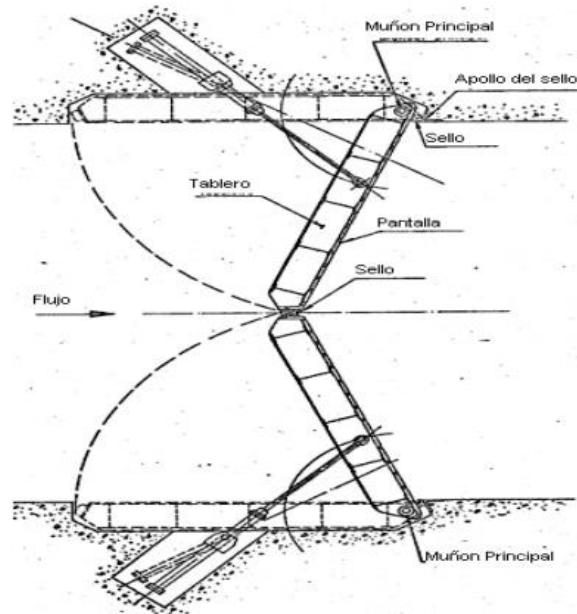


Figura 1.6 Compuerta tipo esclusa

- **Tipo Deslizante:** Para su funcionamiento hacen uso de rieles que funcionan como guías fijas, su movimiento puede ser horizontal o vertical, y son accionador por un motor.

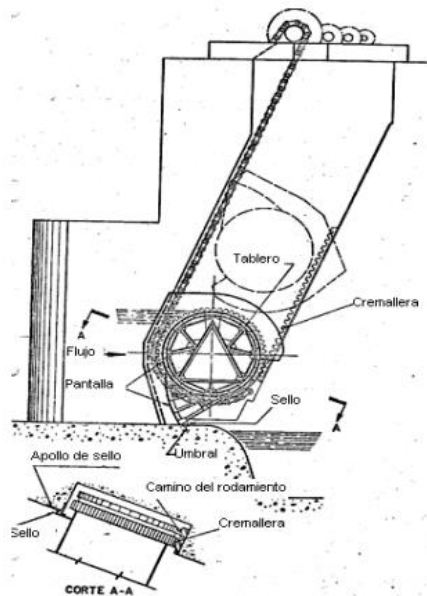


Figura 1.7 Compuerta tipo deslizante

- **Tipo Lagarto:** Su funcionamiento se basa en el movimiento de cadenas laterales en un plano vertical, que permite controlar el porcentaje de apertura de la compuerta.

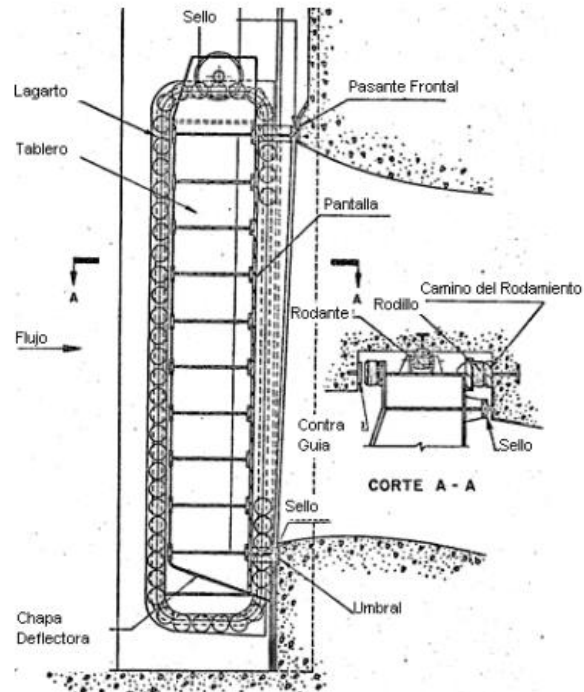


Figura 1.8 Compuerta tipo lagarto.

Fuente de figuras de la 1.3 al 1.7: Diseño de una compuerta Hidráulica Tipo Segmento para un nivel máximo de aguas arriba de 2 m y un nivel máximo de aguas debajo de 2.3 m

1.4.5 Sistemas de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia es el método por el cual una fuente, que puede ser un motor, provea de un impulso de salida a un mecanismo receptor. Comúnmente están compuestos por un eje, al que se adicionan otros elementos como engranes, correas, cadenas, bandas, y demás, (Budynas & Nisbett, 2012).

- **Ruedas de fricción:** Este sistema se basa en conducir el movimiento de una rueda motriz, a otra rueda por medio de la fuerza de fricción ocasionada por su rozamiento. Como principal desventaja esta la poca capacidad de transmisión de potencia que posee.
- **Correas o bandas:** Las correas o bandas son colocadas entre dos poleas, siendo una de estas la que provee de movimiento a la otra.

Esta transmisión de potencia ocurre debido a que la polea se mueve a causa de la fricción con la polea.

- **Cadenas:** Al contrario que las correas, las cadenas no usan la fricción como fundamento para la transmisión de potencia. En su lugar, usan ruedas con dientes que al girar se van encajando con los eslabones de la cadena, permitiendo así la transmisión de potencia.
- **Engranaje:** Están compuesto por un conjunto de 2 o mas engranes, es parecido al sistema de ruedas de fricción en el hecho de que una rueda gire a otra. Sin embargo, el movimiento es realizado por el acople de los dientes de los engranes.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La elaboración de este proyecto fue realizada bajo los modelos de proceso de diseño propuestos por (Pahl & Beitz, 2007); cálculos analíticos bajo normativas; modelado geométrico realizado en software Rhinoceros, el cual se exportó al modulo SpaceClaim, para ser revisado y corregido, después, se importó usando el modulo Static Structural para generar el mallado del modelo en el que se adicionó las cargas para su procesamiento y post procesamiento de los resultados.

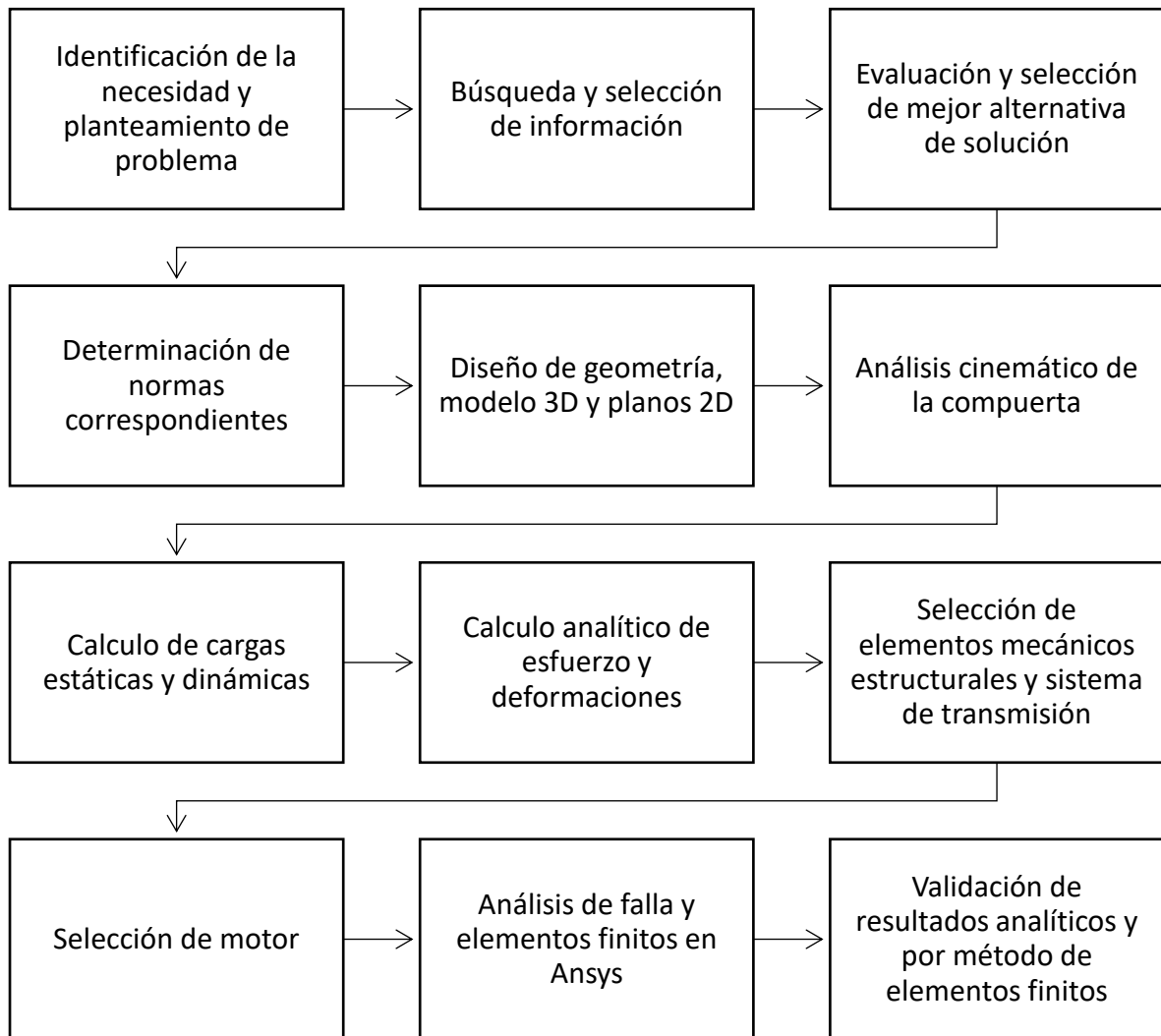


Figura 2.1 Diagrama de metodología del diseño estructural de una compuerta de control de de paso en un canal de ruta fluvial

2.1 Diseño Conceptual

2.1.1 Establecimiento de objetivos

Se realizó un árbol de objetivos para determinar la jerarquía de estos a cumplir en el diseño propuesto, indicando los requerimientos, los objetivos principales, y los secundarios, como se observa en la Figura 2.2.

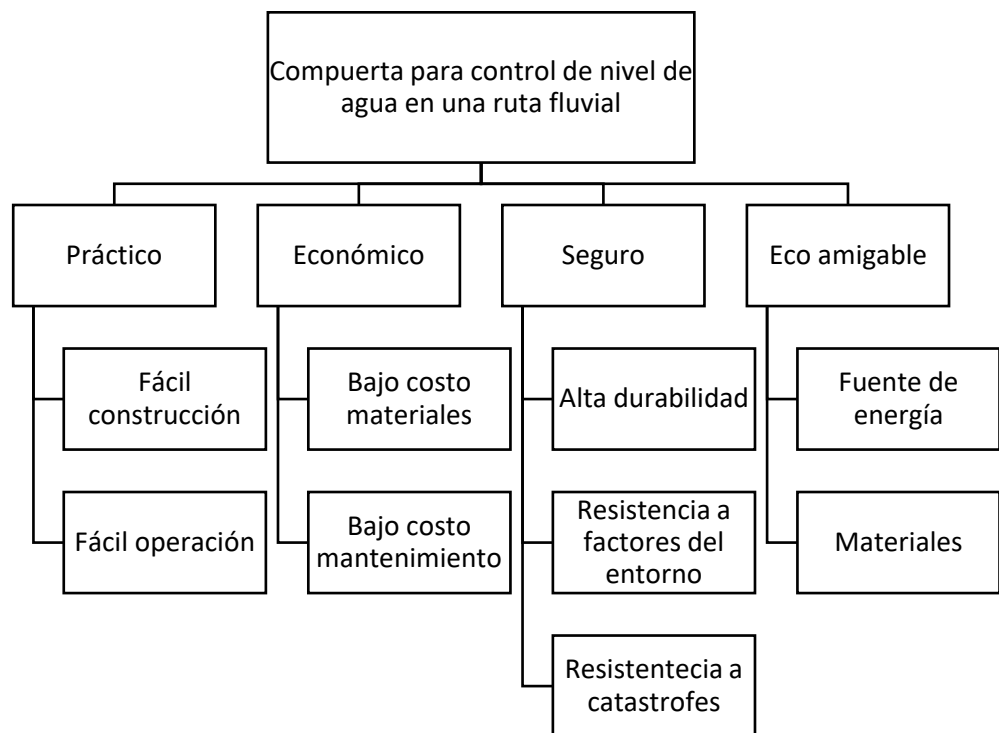


Figura 2.2 Árbol de objetivos

El cuadro de comparación por pares sobre los objetivos principales, mostrado en la Tabla 2.1, fue elaborado para discernir la importancia de cada objetivo en las filas con respecto al de las columnas, asignando el valor de 1 cuando el de la fila es de mayor relevancia. Así, el objetivo que tenga mas puntos es el que se debe priorizar al diseñar, en este caso fue la seguridad.

Tabla 2.1 Cuadro de comparación entre objetivos principales

Objetivos	Práctico	Económico	Seguro	Eco amigable	Total
Práctico	1	0	0	1	2
Económico	1	1	0	1	3
Seguro	1	1	1	1	4
Eco amigable	0	0	0	1	1

2.1.2 Establecimiento de restricciones

Con el objetivo de considerar las restricciones en el diseño, se elaboró un árbol combinado, en el que se especifica por cada objetivo, cual es la restricción para el mismo, de esta manera, el diseño realizado se mantiene dentro de los límites de lo posible. En la Figura 2.3, se muestran los objetivos en rectángulos con bordes rectos, y las restricciones con bordes redondos.

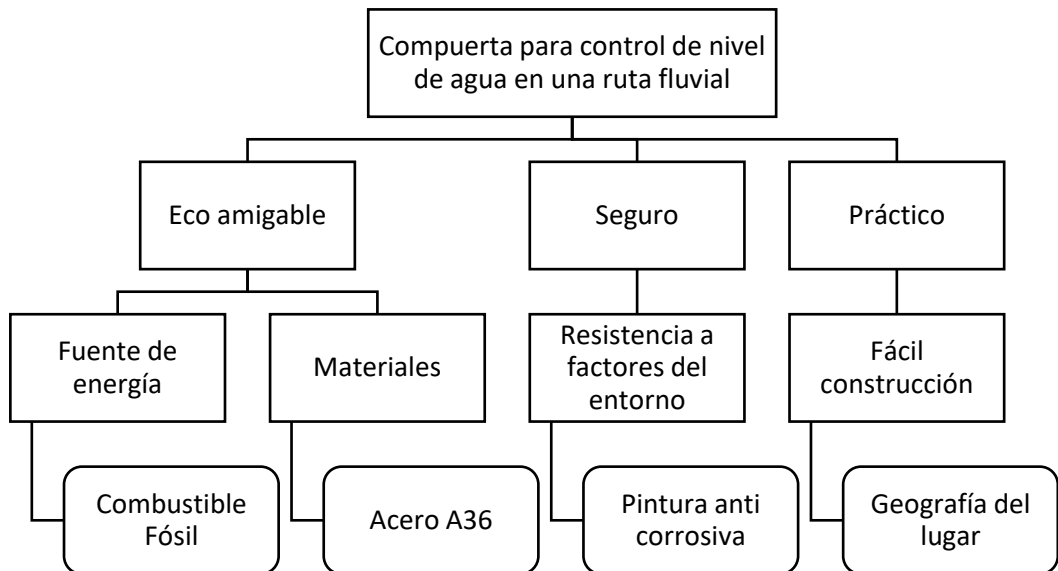


Figura 2.3 Árbol de objetivos y restricciones.

2.1.3 Establecimiento de Funciones

El siguiente paso en el diseño, fue determinar las funciones que realizaría el diseño, para esto se realizaron los diagramas de caja negra y caja

blanca, Figuras 2.4 y 2.5 respectivamente. En estos diagramas se denota las entradas al sistema, las acciones que producen dichas entradas, y la salida del sistema.

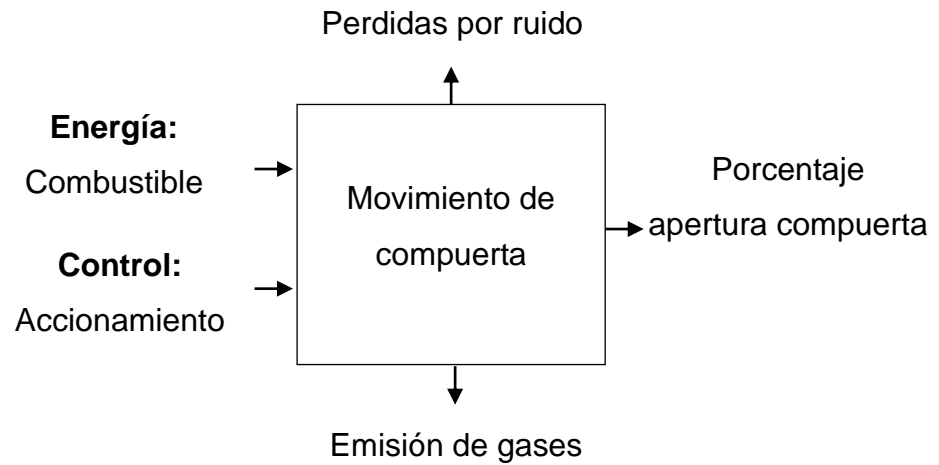


Figura 2.4 Diagrama de caja negra

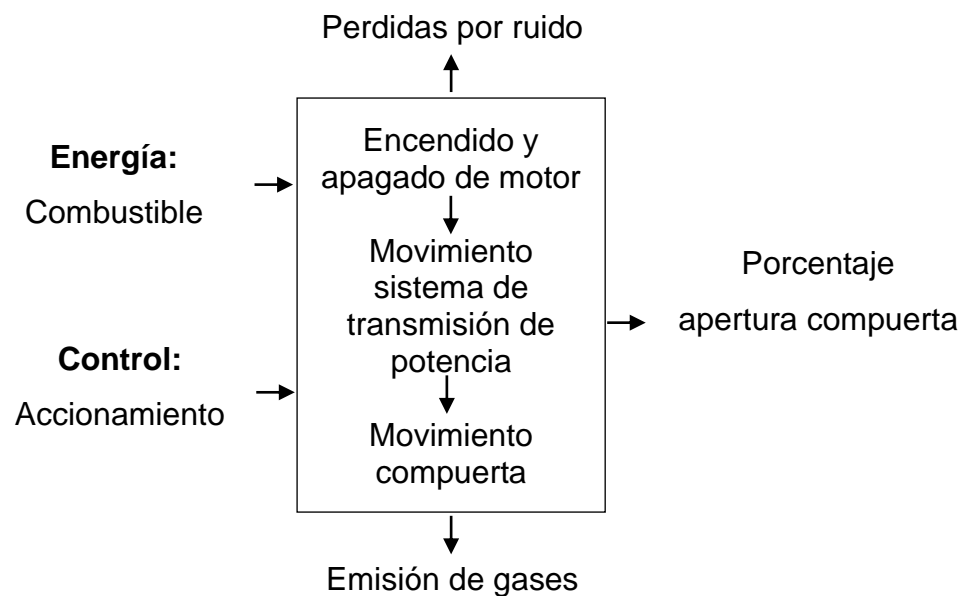


Figura 2.5 Diagrama de caja blanca

2.1.4 Alternativas de solución

De las alternativas expuestas en el punto 1.4.4, se eligieron tres (3) para la evaluación de la mejor alternativa de solución, siendo los modelos seleccionados: tipo esclusa, tipo deslizante, tipo lagarto.

2.1.5 Selección de la mejor alternativa de solución

Los criterios de selección usados para la evaluación de la mejor alternativa de solución fueron los siguientes:

- Construcción: Facilidad de construcción de la compuerta.
- Durabilidad: Tiempo de vida útil de la compuerta.
- Seguridad: Capacidad de la compuerta para soportar catástrofes y accidentes.

Se realizó un cuadro de comparación por pares entre los criterios de selección para determinar el peso de cada criterio al momento de evaluar las alternativas de solución, esto se encuentra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Cuadro de comparación entre criterios de selección

Criterios de selección	Construcción	Durabilidad	Seguridad	Total	%
Construcción	0	0	0	1	17
Durabilidad	1	1	0	2	33
Seguridad	1	1	1	3	50

En la tabla 2.3, se indican las ponderaciones cuantitativas y cualitativas de las calificaciones que se dieron a cada alternativa de solución, y en la tabla 2.4, la matriz de decisión en la que se muestra el resultado de la evaluación de la mejor alternativa de solución.

Tabla 2.3 Criterios de ponderación

Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Excelente	5
Muy bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Tabla 2.4 Matriz de decisión de la mejor alternativa de solución

	%	Esclusa		Deslizante		Lagarto	
		Calif.	Puntaje	Calif.	Puntaje	Calif.	Puntaje
Construcción	17	4	0.68	5	0.85	3	0.51
Durabilidad	33	4	1.32	4	1.32	4	1.32
Seguridad	50	5	2.5	5	2.5	4	2
		Total	4.5	Total	4.67	Total	3.83

2.2 Diseño preliminar

2.2.1 Normativas

Los cálculos y el análisis se realizaron bajo la normativa NBR-8883 y el método de diseño de Paulo Erbisti especificado en su libro Design of Hydraulic Gates 2nd Ed.

2.2.2 Criterio de falla

El criterio de falla bajo el cual se evaluó el factor de seguridad de los esfuerzos presentes en el diseño realizado con respecto a los esfuerzos admisibles según normativa NBR-8883, es el de Von Misses, criterio que realiza una relación entre el máximo esfuerzo de Von Misses y el esfuerzo de fluencia admisible.

2.2.3 Geometría de la compuerta

La compuerta tipo deslizante es la mejor alternativa de solución por lo que su geometría corresponde a un tipo plana. Las dimensiones principales de la cara sobre la que actúan las fuerzas hidrostáticas y dinámicas, de acuerdo con las restricciones por geografía, son:

Profundidad del canal, H: 12000 [mm]

Ancho del canal, B: 15000 [mm]

2.2.4 Cargas en la compuerta

Las cargas consideradas para este análisis fueron las correspondientes a la presión hidrostática, la presión por sismo y la presión por corrientes marítimas. No se consideraron las cargas por viento ni por impacto.

El calculo de la carga hidrostática se realizó con una expresión equivalente a la ecuación 2.1.

$$F_{estatica} = \frac{1}{2} \gamma B H^2 \quad (2.1)$$

Donde:

$F_{estatica}$: Carga estática por presión hidrostática [N]

γ : Peso específico del agua $1.0074 \cdot 10^{-5}$ [N/mm³]

B : Ancho compuerta [mm]

H : Altura compuerta [mm]

La carga dinámica correspondiente a la causada por sismos se calculó con la ecuación 2.2, de Westergaard, de acuerdo con la norma NBR 8883 (Asociación Brasileña de Normas Técnicas, 2008).

$$P_{sismo} = \frac{7}{8} \gamma k \sqrt{H_r * H} \quad (2.2)$$

Donde:

P_{sismo} : Presión dinámica debido a sismo [kPa]

k : Factor debido al sismo

H_r : Diferencia de altura desde N.A. hasta fondo de deposito [mm]

H : Altura de liquido en contacto con pantalla de compuerta [mm]

Para conocer la fuerza realizada por esta carga dinámica, se multiplicó la expresión 2.2 por el área de pantalla de la compuerta, quedando como resultado la ecuación 2.3:

$$F_{sismo} = P_d BH = \frac{7}{8} \gamma k BH \sqrt{H_r * H} \quad (2.3)$$

La carga resultante por la fuerza de arrastre de las corrientes marítimas se calculó con la ecuación 2.4.

$$F_{arraastre} = \frac{1}{2} \rho V^2 AC \quad (2.4)$$

Donde:

$F_{arraastre}$: Fuerza debido a la corriente [N]

ρ : Densidad del agua $1.027 \cdot 10^{-6}$ [Kg/mm³]

C : Factor de forma

V : Velocidad de corriente [mm/s]

A : Área de pantalla de la compuerta [mm²]

Entonces, para conocer la carga total que actúa sobre la compuerta se sumó las cargas dinámicas y estática, tal como se muestra en la Figura 2.6.

$$\begin{aligned}
 F_T &= F_{estatica} + F_{sismo} + F_{arrastre} \\
 &= BH\gamma\left(\frac{1}{2}H + \frac{7}{8}k\sqrt{H_r * H}\right) + \frac{1}{2}\rho V^2 AC \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

De la expresión 2.5 se conoce que:

$$B = 15000 \text{ [mm]}$$

$$H = H_r = 12000 \text{ [mm]}$$

$$\gamma = 1.0074 \cdot 10^{-5} \text{ [N/mm}^3\text{]}$$

$$\rho = 1.027 \cdot 10^{-6} \text{ [kg/mm}^3\text{]}$$

$$k = 0.5 \text{ según Figura 2.7}$$

$$V = 4 \text{ [m/s] según (Noboa & Palacios, 2013)}$$

$$\begin{aligned}
 F_T &= (15000)(12000)(1.0074 \cdot 10^{-5})\left(\frac{1}{2}(12000) + \frac{7}{8}(0.5)\sqrt{12000^2}\right) \\
 &\quad + \frac{1}{2}(1.027 \cdot 10^{-6})(4)^2((15000)(12000))(1) \\
 F_T &= 17.12 \cdot 10^6 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

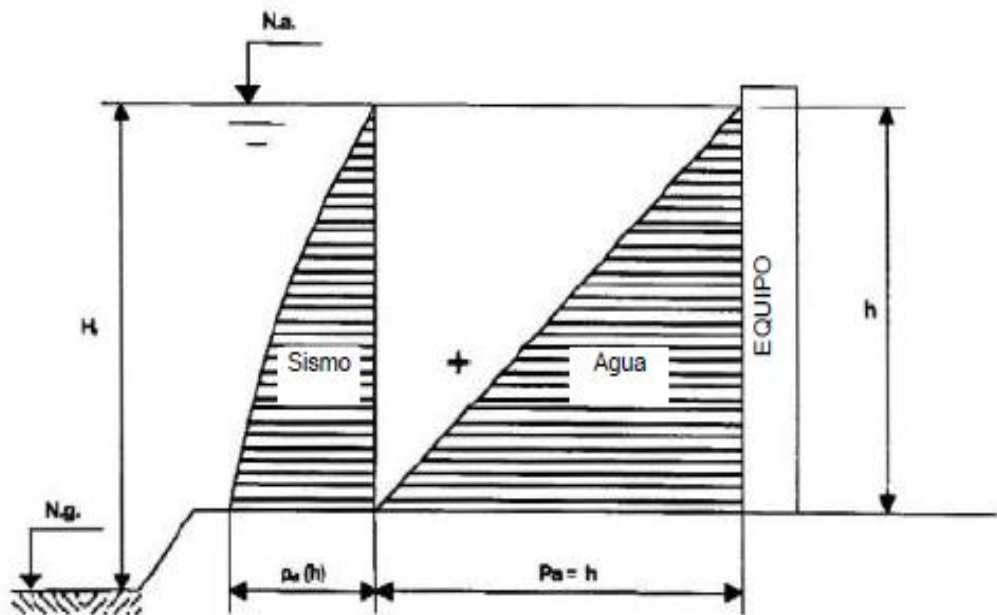


Figura 2.6 Cargas estática y dinámica

Fuente: Norma NBR-8883

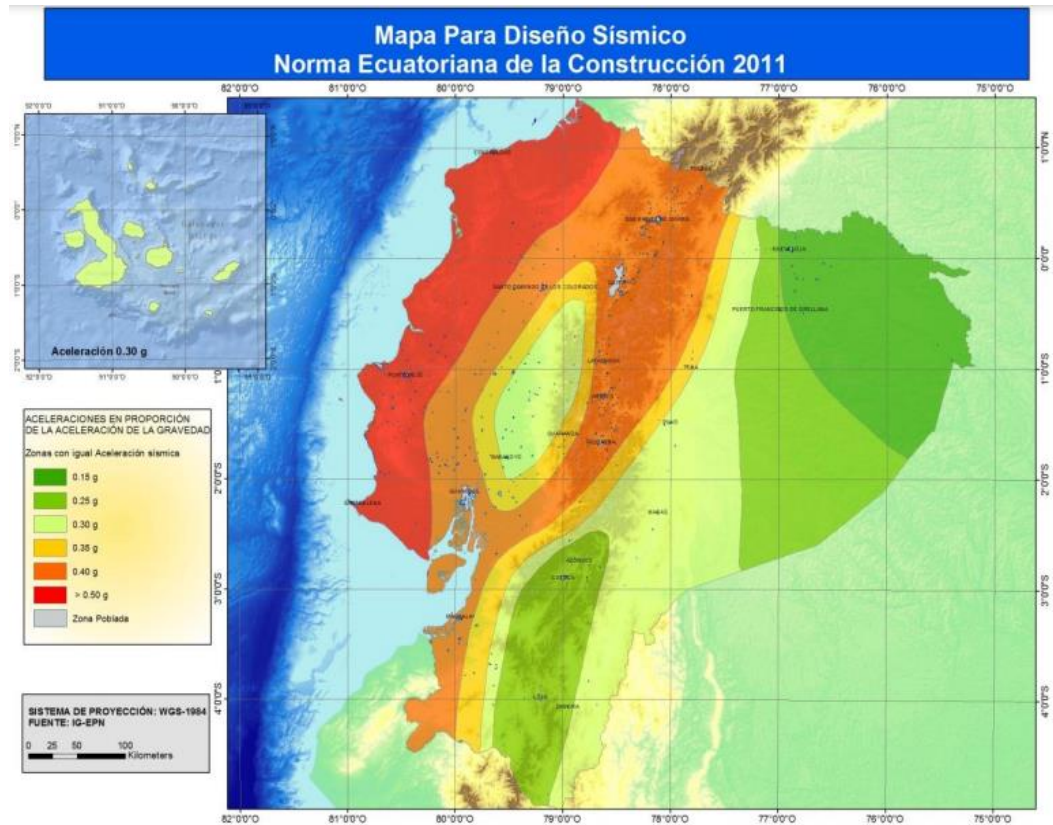


Figura 2.7 Mapa factor sísmico

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

2.2.5 Esfuerzo y dimensiones de planchas

Para calcular el espesor de las planchas en la pantalla de la compuerta, se determinó el esfuerzo que soportarían las planchas.

El esfuerzo admisible según tabla 5.1 de la norma NBR-8883 ubicada en Anexos, tiene un factor de 0.89, el esfuerzo de fluencia σ_{sy} del acero ASTM A36 es de 248.1 [MPa], por lo tanto, el esfuerzo admisible resultó:

$$\sigma_{adm} = \sigma_{sy}(0.89) \quad (2.6)$$

$$\sigma_{adm} = 215.847 \text{ [MPa]}$$

A este esfuerzo admisible se aplicó un factor de seguridad de 1.5.

$$\sigma_{adm \text{ plancha}} = 215.847 (1.5) \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{adm \text{ plancha}} = 143.89 \text{ [MPa]}$$

Se definió ancho y altura de las planchas según ubicación de los refuerzos secundarios y secundarios.

Ancho, b: 2500 [mm]

Altura, a: 500 [mm]

Se calculó la presión efectiva en la mitad de la altura de la placa con mayor profundidad.

$$P_e = \frac{7}{8} \gamma k \sqrt{\left(H - \frac{a}{2}\right)^2} + \gamma \left(H - \frac{a}{2}\right) + \frac{1}{2} \rho V^2 C \quad (2.7)$$

$$P_e = \frac{7}{8} (1.0074 \cdot 10^{-5}) (0.5) \sqrt{\left(12000 - \frac{500}{2}\right)^2} + (1.0074 \cdot 10^{-5}) \left(12000 - \frac{500}{2}\right) + \frac{1}{2} (1.027 \cdot 10^{-6}) (4)^2 (1)$$

$$P_e = 0.1783 \text{ [MPa]}$$

Posteriormente se determinó la relación entre b y a, para escoger los coeficientes k y α para los esfuerzos según la tabla 5.3 de la norma NBR-8883 en Anexos.

$$\frac{b}{a} = 5 \quad (2.8)$$

K_{1x}: 25

K_{1y}: 7.5

K_{4y}: 34.2

K_{3x}: 50

El espesor t de la plancha se calculó con la ecuación 2.9.

$$t = \sqrt{\frac{k}{100} P_e \frac{a^2}{\sigma_{adm\ plancha}}} \quad (2.9)$$

$$t_{1x} = \sqrt{\frac{25}{100} (0.1783) \frac{500^2}{143.89}} = 8.8 \text{ [mm]}$$

$$t_{1y} = \sqrt{\frac{7.5}{100} (0.1783) \frac{500^2}{143.89}} = 4.82 \text{ [mm]}$$

$$t_{4y} = \sqrt{\frac{34.2}{100} (0.1783) \frac{500^2}{143.89}} = 10.29 \text{ [mm]}$$

$$t_{3x} = \sqrt{\frac{50}{100} (0.1783) \frac{500^2}{143.89}} = 12.45 \text{ [mm]}$$

Siendo el espesor máximo 12.45 [mm], se escogió plancha de 12.7 [mm] debido a conveniencia de mercado.

2.2.6 Refuerzos terciarios

Los refuerzos terciarios corresponden a los ubicados en los extremos inferior y superior de las planchas que conforman la pantalla de la compuerta, la separación de estos refuerzos es de 500 [mm] como se observa en la figura 2.8. Para los cálculos se usó el caso más crítico que es el refuerzo ubicado en la plancha más baja de la compuerta al ser este el que soporta la mayor cantidad de presión debido a la profundidad, por otro lado, el tipo de apoyo sería de tipo empotrado al estar estos refuerzos

soldados a los secundarios que van ubicados de manera vertical cada 2500 [mm].

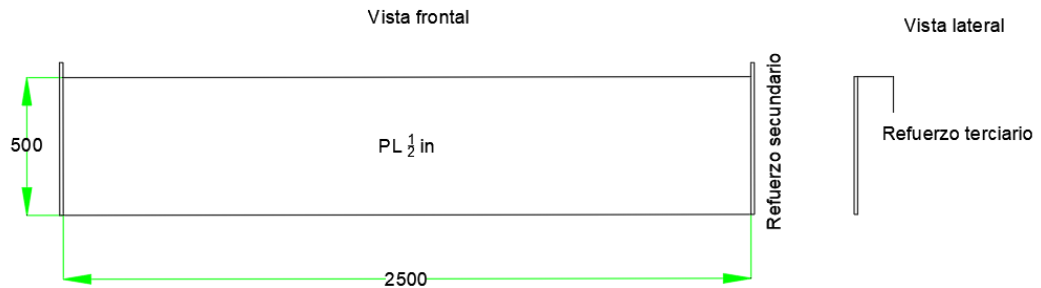


Figura 2.8 Vista frontal y lateral de refuerzos terciarios

La presión efectiva es la misma calculada con la ecuación 2.7, siendo 0.1783 [MPa], y la fuerza distribuida resulta de la ecuación 2.10

$$q_l = \frac{(P_e)(a)(b)}{b} \quad (2.10)$$

Donde:

q_l : Carga longitudinal [N/mm]

P_e : Presión efectiva 0.1783 [MPa]

a : Altura de plancha 500 [mm]

b : Ancho de plancha 2500 [mm]

$$q_l = \frac{(0.1783)(500)(2500)}{2500} = 89.2 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Con la carga longitudinal se calculo el momento flector máximo generado por esta carga en el refuerzo con sus lados empotrados con la ecuación 2.11.

$$M = \frac{q_l b^2}{12} \quad (2.11)$$

Donde:

M : Momento flector [Nmm]

q_l : Carga longitudinal [N/mm]

b : Ancho de plancha 2500 [mm]

$$M = \frac{(89.2) (2500)^2}{12} = 46.45 \cdot 10^6 \text{ [Nmm]}$$

Después se calculó el modulo resistente elástico mínimo con el que se determinará el esfuerzo máximo producido en el refuerzo secundario con la ecuación 2.12, y el factor de seguridad respecto al esfuerzo admisible según normativa en los elementos de este tipo. En la tabla 2.5, se puede observar las dimensiones de los refuerzos y los resultados de los cálculos para el modulo resistente elástico.

Tabla 2.5 Calculo de inercia, y modulo resistente elástico de refuerzos terciarios

	b [mm]	h [mm]	z [mm]	A [mm ²]	A_z [mm ³]	I_o [mm ⁴]	A(Z-Z₀)² [mm ⁴]	I [mm ⁴]
Plancha	500	12,7	6,35	6350	4,03·10 ⁴	8,53·10 ⁴	1,61·10 ⁷	1,62·10 ⁷
Alma	25,4	120	72,7	3048	2,22·10 ⁵	3,66·10 ⁶	7,85·10 ⁵	4,44·10 ⁶
Ala	120	25,7	145,05	3048	4,43·10 ⁵	1,64·10 ⁵	2,40·10 ⁷	2,42·10 ⁷
	Z	158,1	Total	12446	7,05·10 ⁵	3,91·10 ⁶	4,09·10 ⁷	4,48·10 ⁷
	Z₀	56,65	[mm]					
	W_x	7,90·10 ⁵	[mm³]					
	W_x	4,41·10 ⁵	[mm³]					

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \quad (2.12)$$

Donde:

σ : Esfuerzo por flexión máximo [MPa]

M : Momento flector [Nmm]

W_x : Modulo resistente elástico mínimo [mm³]

$$\sigma_{rt} = \frac{46.45 \cdot 10^6}{4,41 \cdot 10^5} = 105.28 \text{ [MPa]}$$

Con un esfuerzo admisible en elementos que no son tipo plancha de $0.68\sigma_{adm}$, el factor de seguridad es de:

$$\eta = \frac{168}{105.28} = 1.59$$

2.2.7 Refuerzos principales

Estos refuerzos son los que soportaran la mayor cantidad de la carga que actúa sobre la compuerta, se los nombrara como girders, y son planchas ubicadas de manera horizontal que conectan la pantalla anterior y posterior de la compuerta. Para que cada uno de los 6 girder soporten la misma cantidad de carga se dividió el área de la carga distribuida por la presión hidrostática en 6 partes, determinando su profundidad efectiva h_k y centroide y_k con las ecuaciones 2.13 y 2.14 respectivamente, en la figura 2.9 se puede observar la distribución de los refuerzos en una sección.

$$h_k = H \sqrt{\frac{k}{n}} \quad (2.13)$$

$$y_k = \frac{2H}{3\sqrt{n}} [k^{3/2} - (k-1)^{3/2}] \quad (2.14)$$

Donde:

h_k : Profundidad efectiva [mm]

y_k : Centroide de área [mm]

H : Profundidad de liquido [mm]

k : Numero de área (1, 2, 3, ..., n)

n : Numero total de áreas 6

En la tabla 2.6 se muestran los resultados de las ecuaciones 2.13 y 2.14, por otro lado, en la tabla 2.7 se muestran los anchos efectivos de cada área.

Tabla 2.6 Centroide y profundidad de áreas

Sección	y_k [mm]	h_k [mm]
1	3266	4899
2	5972	6928
3	7733	8485
4	9157	9798
5	10387	10954
6	11485	12000

Tabla 2.7 Ancho efectivo por cada seccion de área

Sección	Ancho efectivo [mm]
1	4899
2	2029
3	1557
4	1313
5	1156
6	1046

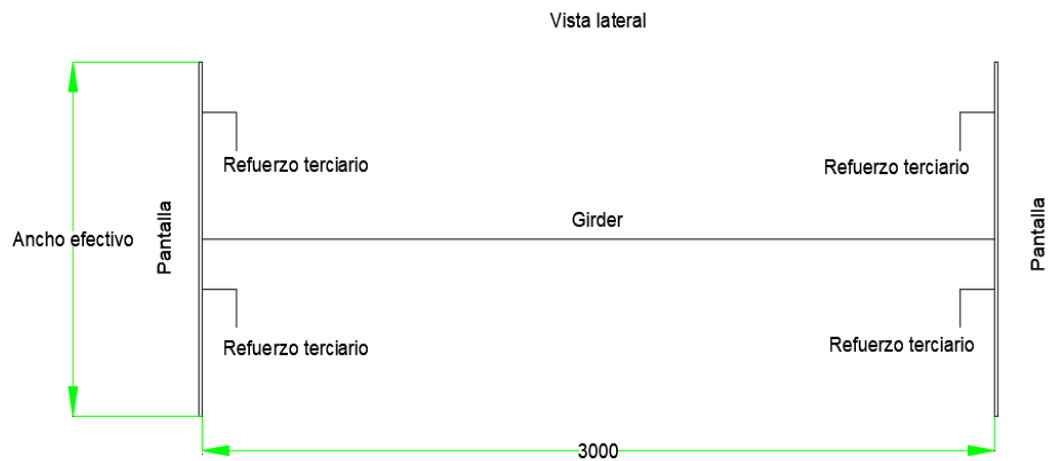


Figura 2.9 Vista lateral del diagrama de refuerzo principal o girder

La carga longitudinal que actúa sobre cada uno de los 6 girder se calculó con la ecuación 2.15, a la que se aplicó un factor de seguridad de 1.5 debido a que, dependiendo de la presencia de las cargas dinámicas, la distribución del área en las secciones va a variar y por tanto la carga que soportará cada carga no será igual.

$$q_l = \frac{(1.5)F_T}{B(N)} \quad (2.15)$$

Donde:

q_l : Carga longitudinal [mm]

F_T : Fuerza total actuante sobre la compuerta [N]

B : Ancho de la compuerta [mm]

N : Numero de secciones o girders

$$q_l = \frac{(1.5)17.12 \cdot 10^6}{15000(6)} \approx 285.34 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Con la carga longitudinal sobre el girder se determinó el momento flector máximo que se produce sobre este refuerzo al estar empotrado en sus extremos, usando la ecuación 2.11 como en los refuerzos terciarios.

$$M = \frac{(285.34) (15000)^2}{12} = 53.5 \cdot 10^8 [Nmm]$$

En la tabla 2.8, se observan los resultados del calculo del modulo resistente elástico en la sección 6 que sería la mas critica por la profundidad, en este caso solo se tiene un valor, ya que la sección es

simétrica, la separación entre las pantallas es de $Z=3000$ [mm], y el espesor utilizado es de 12.7 [mm] por motivo de mantener el espesor de la pantalla y así no tener problemas de inventario en cualquier eventualidad.

Posteriormente, con el modulo resistente elástico, se calculó el esfuerzo máximo de flexión de acuerdo con la ecuación 2.12, y con ese valor se determinó el factor de seguridad existente respecto al esfuerzo admisible.

Tabla 2.8 Calculo de inercia, y modulo resistente elástico de girders

Sección 6	b [mm]	h [mm]	z [mm]	A [mm ²]	A _z [mm ³]	I _o [mm ⁴]	A(Z-Z ₀) ² [mm ⁴]	I [mm ⁴]
Plancha	1046	12,7	6,35	13278	8,43·10 ⁴	1,78·10 ⁵	3,01·10 ¹⁰	6,03·10 ¹⁰
Plancha	1046	12,7	3019,05	13278	4,01·10 ⁷	1,78·10 ⁵	3,01·10 ¹⁰	6,03·10 ¹⁰
Girder	12,7	3000	1512,7	38100	5,76·10 ⁷	2,86·10 ¹⁰	0	2,86·10 ¹⁰
Alma RT	25,4	120	72,7	3048	2,22·10 ⁵	3,66·10 ⁶	6,32·10 ⁹	1,26·10 ¹⁰
Ala RT	120	25,4	145,4	3048	4,43·10 ⁵	1,64·10 ⁵	5,70·10 ⁹	1,14·10 ¹⁰
Alma RT	25,4	120	72,7	3048	2,22·10 ⁵	3,66·10 ⁶	6,32·10 ⁹	1,26·10 ¹⁰
Ala RT	120	25,4	145,4	3048	4,43·10 ⁵	1,64·10 ⁵	5,70·10 ⁹	1,14·10 ¹⁰
Alma RT	25,4	120	2952,7	3048	9·10 ⁶	3,66·10 ⁶	6,32·10 ⁹	1,26·10 ¹⁰
Ala RT	120	25,4	2880	3048	8,78·10 ⁶	1,64·10 ⁵	5,70·10 ⁹	1,14·10 ¹⁰
Alma RT	25,4	120	2952,7	3048	9·10 ⁶	3,66·10 ⁶	6,32·10 ⁹	1,26·10 ¹⁰
Ala RT	120	25,4	2880	3048	8,78·10 ⁶	1,64·10 ⁵	5,70·10 ⁹	1,14·10 ¹⁰
			Total	76849	1,16·10⁸	2,86·10¹⁰	8,43·10¹⁰	2,45·10¹¹
Z₀	1512,7	[mm]						
W_x	1,62·10⁸	[mm³]						

$$\sigma_{rt} = \frac{53.5 \cdot 10^8}{1.62 \cdot 10^8} = 32.98 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{168}{40.29} = 5.09$$

2.2.8 Refuerzos secundarios

Los refuerzos secundarios están ubicados de manera vertical, para el calculo del esfuerzo máximo en este elemento primero se calcula la carga longitudinal en la sección mas crítica, en este caso la sección numero uno, al tener esta un mayor ancho efectivo por lo que la carga total resulta mas alta. Se uso la ecuación 2.15 para determinar q_l , en este elemento no se uso un factor de seguridad adicional, ya que en el eje vertical la distribución de carga es equitativa, en cualquier caso.

$$q_l = \frac{17.12 \cdot 10^6}{12000(7)} \approx 203.81 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Con la ecuación 2.11 se calculó el momento flector máximo producido por la carga longitudinal sobre el refuerzo en el ancho efectivo de la sección 1.

$$M = \frac{(203.81) (4899)^2}{12} = 40.76 \cdot 10^7 [Nmm]$$

En la tabla 2.9 se muestra el resultado de los módulos resistente elástico, según la sección transversal mostrada en la figura 2.10, de los cuales se escogió el menor para calcular el esfuerzo por flexión máximo generado en el refuerzo terciario, y después se determinó el factor de seguridad respecto al esfuerzo admisible.

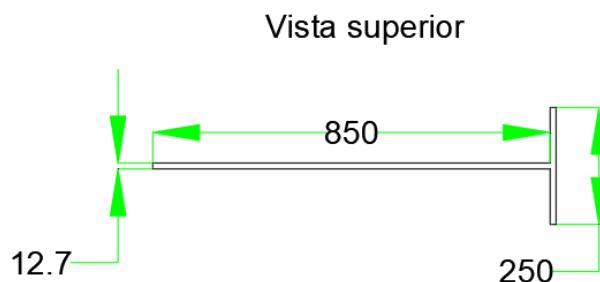


Figura 2.10 Sección transversal del refuerzo secundario

Tabla 2.9 Calculo de inercia, y modulo resistente elástico de refuerzos secundarios

Sección 1	b [mm]	h [mm]	z [mm]	A [mm ²]	A _z [mm ³]	I _o [mm ⁴]	A(Z-Z ₀) ² [mm ⁴]	I [mm ⁴]
Alma	12,7	850	425	10795	4,59·10 ⁶	6,50·10 ⁸	1,04·10 ⁸	8,57·10 ⁸
Ala	250	12,7	856,35	3175	2,72·10 ⁶	4,27·10 ⁴	3,53·10 ⁸	7,06·10 ⁸
	Z	862,7	Total	13970	7,31·10 ⁶	6,50·10 ⁸	4,56·10 ⁸	1,56·10 ⁸
Z₀	523,03	[mm]						
W_x	2,99·10 ⁶	[mm³]						
W_x	4,60·10 ⁶	[mm³]						

$$\sigma_{rt} = \frac{40.76 \cdot 10^7}{2.99 \cdot 10^6} = 136.41 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{168}{136.41} = 1.23$$

2.3 Diseño detallado

2.3.1 Masa de la compuerta

Para obtener la masa total de la compuerta, se calculó la masa por cada tipo de elemento, las pantallas, los refuerzos primarios, secundarios y terciarios con la ecuación 2.16.

$$M = N_e(\rho_{A36}) \frac{(A)(L)}{1000^3} \quad (2.16)$$

Donde:

M: Masa [Ton]

ρ_{A36} : Altura de compuerta 7860 [Kg/m³]

A: Área transversal [mm²]

L: Longitud [mm]

N_e : Cantidad de elementos

- Masa de pantalla

$$M_p = 2(7860) \frac{(12.7)(12000)(15000)}{1000^4} \approx 36 [Ton]$$

- Masa de refuerzos principales

$$M_{rp} = 8(7860) \frac{(12.7)(3000)(15000)}{1000^4} \approx 36 [Ton]$$

- Masa de refuerzos secundarios

$$M_{rs} = 6(7860) \frac{((12.7)(850 + 250))(12000)}{1000^4} \approx 12 [Ton]$$

- Masa de pantalla lateral

$$M_{pl} = 1(7860) \frac{(12.7)(3000)(12000)}{1000^4} \approx 4 [Ton]$$

- Masa de refuerzo terciario

$$M_{rt} = ((2)(23))(7860) \frac{(2)(25.4)(120)(15000)}{1000^4} \approx 33 [Ton]$$

- Masa de total

$$M_{compuerta} = 121 [Ton]$$

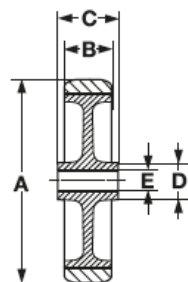
2.3.2 Potencia para deslizamiento de la compuerta

Para seleccionar el soporte se consideró la carga máxima que este podría experimentar tomando como opción la rueda 400HVB8 de núcleo de hierro la cual soporta hasta una carga de 3000 kg de fuerza normal, según la figura 2.11.

Con esto se determinó el número de ruedas de la siguiente forma:

$$\# \text{ruedas} = \frac{m \text{ total} = 121 \text{ ton}}{3 \text{ ton}} * 1 \text{ rueda}$$

$$\# \text{ruedas} = 40.33 \approx 42$$



























Código	Referencia						Tipo de cojinete		Montaren so porte categoría
17-70	100 HVL5*	100	50	50	76	20,2		450	-
17-71	100 HVB5		50	50	76	20,0		450	5
17-73	125 HVL6*	125	50	50	57	20,2		550	-
17-74	125 HVB6		50	50	57	20,0		550	5-6
17-77	150 HVL6*	150	50	50	67	20,2		700	-
17-78	150 HVB6		50	50	67	20,0		700	5-6-7
17-80	200 HVL6*	200	50	60	78	20,2		1.000	-
17-81	200 HVB6		50	60	78	20,0		1.000	5-6-7
17-82	200 HVL8**		80	80	78	30,3		1.300	-
17-83	200 HVB8		75	83	--	30,0		1.800	8
17-85	250 HVL6*	250	50	60	83	20,2		1.100	-
17-86	250 HVB6		50	60	83	20,0		1.200	6-7
17-87	250 HVL8**		80	80	91	30,3		1.650	-
17-88	250 HVB8		75	83	--	30,0		2.500	8
17-90	300 HVL8**	300	80	80	105	30,3		1.900	-
17-91	300 HVB8		75	83	--	30,0		2.750	8
17-93	400 HVL8***	400	80	80	105	50,3		2.500	-
17-94	400 HVB8		80	80	105	40,0		3.000	8

Figura 2.11 Catalogo de ruedas de Hierro Fundido

Fuente: Sitasa

Para el cálculo de la potencia mecánica necesaria para realizar el desplazamiento de la compuerta, se utilizó el principio de Trabajo Virtual que simplifica el cálculo al trasladar el peso de toda la estructura hacia un solo elemento, en este caso la rueda seleccionada, y se calcula la potencia requerida para mover dicho elemento. (Beer, Russel, & Mazurek, 2010)

El calculo del torque en la rueda se realizó con la ecuación 2.17.

$$T = mg\mu_r R \quad (2.17)$$

Donde:

T: Torque [Nm]

m: Masa de la estructura [Ton]

g= Gravedad [m/s²]

μ_r : Coeficiente de rodamiento (0.01-0.034)

R: Radio de la rueda [mm]

$$T = (121)(9.81)(0.034)(200)$$

$$T = 8071.668 [Nm]$$

La velocidad angular resultó de la ecuación 2.18.

$$\omega = \frac{V}{R} \quad (2.18)$$

Donde:

ω : Velocidad angular [rad/s]

V: Velocidad tangencial 0.05 [m/s]

R: Radio de la rueda [m]

$$\omega = \frac{0.05}{0.2} = 0.25 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Entonces, la potencia requerida se calculó con la ecuación 2.19.

$$Pot = T\omega \quad (2.19)$$

$$Pot = (8071.668)(0.25)$$

$$Pot = 2017.917 [W] = 2.71 [HP]$$

Se escoge un motor de 10 [HP] para tener un margen de seguridad importante cuando se requiera cambiar la velocidad de trabajo de la compuerta, y cualquier eventualidad que requiera de una mayor potencia para el desplazamiento de la estructura.

2.3.3 Análisis de elementos finitos

Para el análisis de elementos finitos, lo primero que se realizó fue el modelo 3D en el software Rhinoceros, tal como se muestra en la figura 2.12.

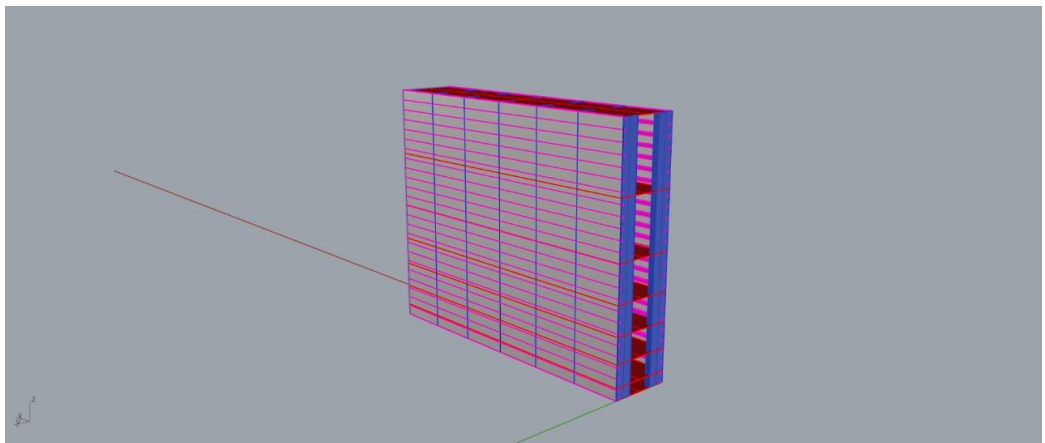


Figura 2.12 Modelo 3D de la compuerta

Se ingresaron las diferentes cargas especificadas en el punto 2.2.6, mostrado en las Figuras 2.13, 2.14 y 2.15.

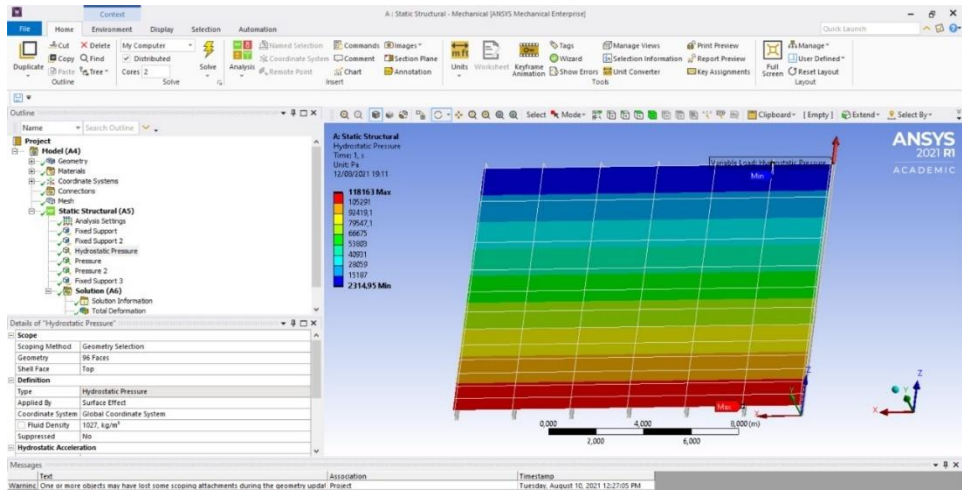


Figura 2.13 Presión hidrostática

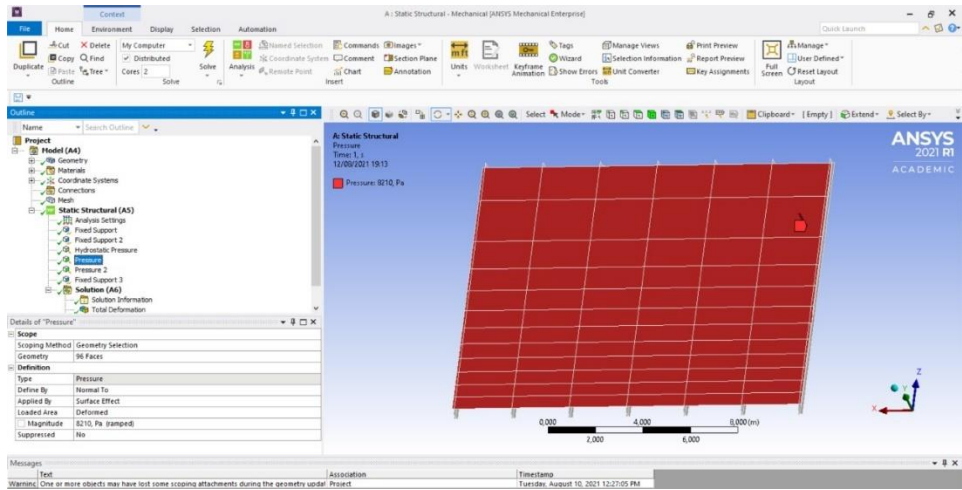


Figura 2.14 Presión dinámica por corriente

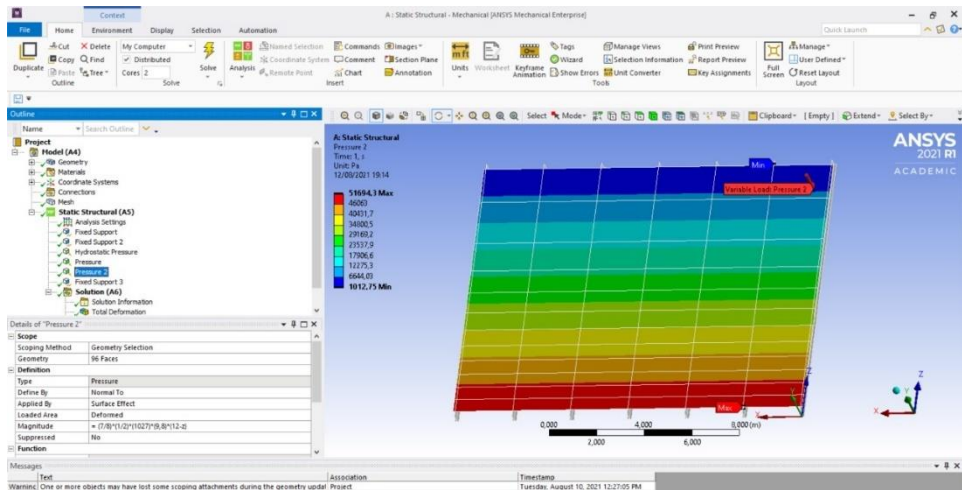


Figura 2.15 Presión dinámica por sismo

Se realizó la optimización del espesor de la pantalla y refuerzos principales, parametrizando el espesor de estos elementos y el esfuerzo máximo de Von Misses en cada tipo de elemento, esto se muestra en la figura 2.16, donde se observa que con 9.5 [mm] de espesor en las pantallas, y refuerzos principales se obtiene un esfuerzo máximo de 156,32 [MPa].

Table of Design Points															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Name	P2 S... T...	3... 3... 3...	P10 126 T...	P11 127 T...	3... 3... 3...	P... S... T...	3... 3... 3...	P15 - Su... 131 Th...	P16 S... 103 T...	P19 - Equivalent Stress Maximum	Ret...	Retained Data	Note
2	Units	mm	m	m	mm	mm	m	mm	m	mm	mm	MPa			
3	DP 0 (Current)	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	129,48	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	DP 1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	140,94	<input type="checkbox"/>		
5	DP 2	11	11	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	140,83	<input type="checkbox"/>		
6	DP 3	10	10	13	13	13	13	13	13	13	13	148,13	<input type="checkbox"/>		
7	DP 4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	140,94	<input type="checkbox"/>		
8	DP 5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	148,94	<input type="checkbox"/>		
9	DP 6	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	156,32	<input type="checkbox"/>		
*													<input type="checkbox"/>		

Figura 2.16 Resultados de la parametrización de la pantalla de la compuerta

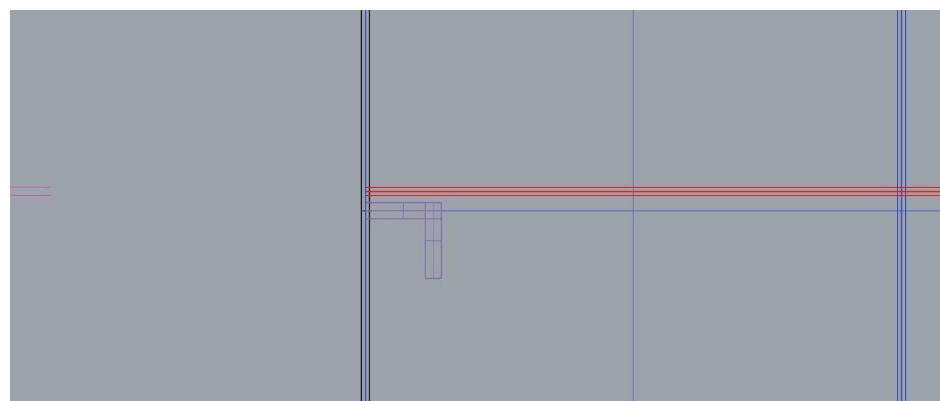


Figura 2.17 Vista ampliada de la conexión

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados presentados corresponden a la selección de los elementos estructurales de la compuerta, el dimensionamiento de estos, el peso de la compuerta y la potencia requerida para su movimiento. Se realiza la comparación entre los resultados teóricos con los obtenidos en el análisis de elementos finitos y el proceso de parametrización del espesor de la pantalla de la compuerta y refuerzos principales que son los de mayor masa de la compuerta.

3.1 Resultados teóricos

3.1.1 Análisis de resultados de las cargas estáticas y dinámicas

Las principales cargas actúan en la pantalla de la compuerta porque son presiones ejercidas por el líquido en contacto con las planchas. Estas presiones son la hidrostática, dinámica por sismo, y dinámica por corriente.

Los cálculos de las cargas se realizaron bajo un supuesto de máxima magnitud, es decir, que la pantalla está en su totalidad en contacto con el líquido, y la corriente marítima es la de máxima velocidad registrada en la costa ecuatoriana e incide de manera perpendicular a la pantalla, sin embargo la dinámica por sismo está calculada bajo el límite inferior del coeficiente de sismo ya que en la zona costera determinada para el análisis este tiene un valor mayor o igual a 0.5, por lo que no existe un valor máximo y resulta contraproducente realizar un análisis que de como resultado un excesivo sobredimensionamiento estructural.

3.1.2 Geometría de la compuerta

Primero se escogió que cada refuerzo vertical estaría ubicado en distancias de 2500 [mm], y los refuerzos terciarios a una distancia de 500 [mm]. Por otro lado, la ubicación de los refuerzos principales se calculó con la ecuación 2.14, teniendo los resultados mostrados en la tabla 2.6. El espesor de las planchas de la pantalla depende de la distancia entre los

refuerzos secundarios, y entre los refuerzos terciarios, teniendo como resultado un espesor aproximado de 12.7 [mm].

Los refuerzos principales se escogió una plancha que uniera las dos pantallas, debido a que de esta manera se aprovecha la masa de las dos para generar una mayor inercia, permitiendo de esta manera una mayor resistencia a la deflexión que sufriría la compuerta.

Los refuerzos secundarios y terciarios tienen una forma de viga T y L respectivamente, ya que esta sección permite mayor inercia, y se puede rigidizar de una mejor manera la pantalla de la compuerta.

3.1.3 Elementos mecánicos seleccionados

Se eligieron elementos tipo plancha para la construcción de los refuerzos, ya que se puede aprovechar de una manera mas optima el inventario al tener una mayor adaptabilidad, de esta forma, se tiene la capacidad de usar las planchas según la necesidad del momento.

Se seleccionaron las ruedas que permiten el deslizamiento de la compuerta soportando el peso de la compuerta, con esta selección se pudo realizar el calculo de la potencia necesaria para mover la compuerta a través del principio de trabajo virtual el cual indica que la potencia requerida para mover la estructura completa es la misma que se necesita para mover un solo elemento de la estructura sobre el cual actúa la totalidad del peso de la estructura.

Todos elementos mecánicos estructurales, están especificados en el capitulo 2, de la misma manera en los planos ubicados en anexos se puede observar la ubicación y tipo de elementos seleccionados.

3.2 Resultados simulación

Los resultados de simulación se dividen en dos ya que se realizó un análisis inicial con los elementos seleccionados y su respectiva geometría mostrada en el capitulo 2, y un análisis final después de la parametrización del espesor de la pantalla y refuerzos principales.

3.2.1 Distribución de esfuerzos análisis sin parametrización

- Pantalla

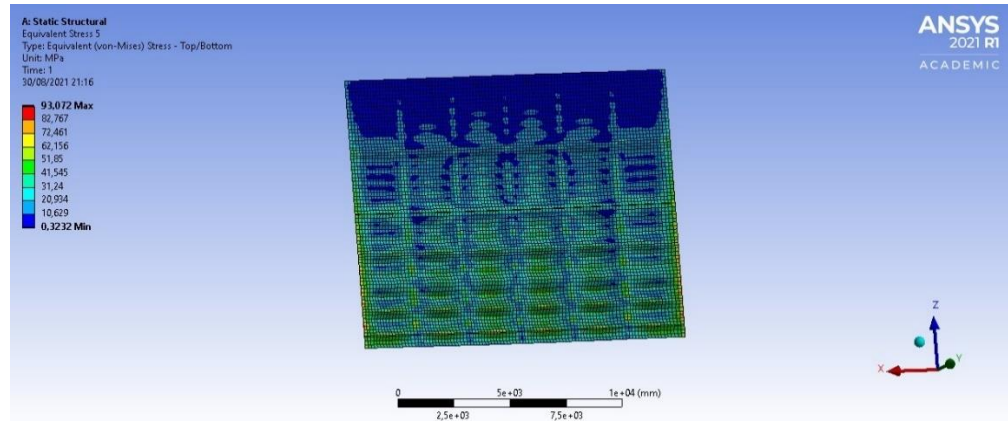


Figura 3.1 Distribución de esfuerzos en la pantalla antes de parametrizar

Nota: Esfuerzo máximo 93.072 [MPa]

- Refuerzos principales

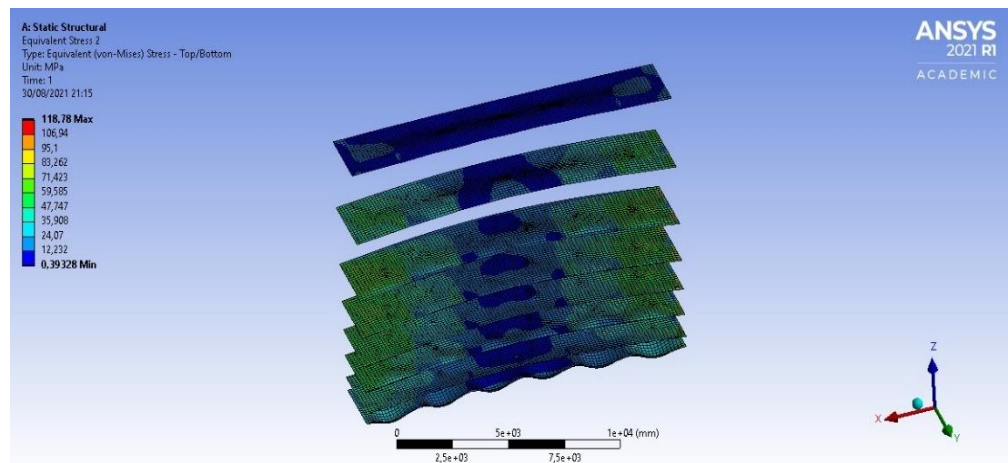


Figura 3.2 Distribución de esfuerzos en los refuerzos principales antes de parametrizar

Nota: Esfuerzo máximo 118.78 [MPa]

- Refuerzos secundarios

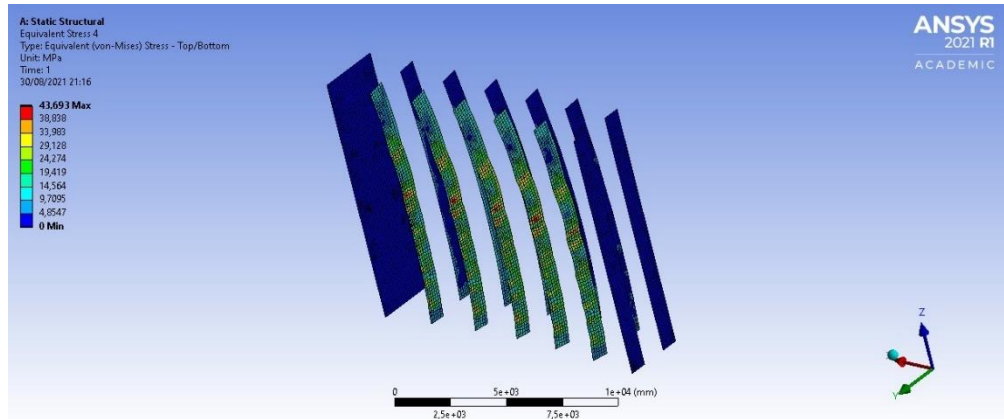


Figura 3.3 Distribución de esfuerzos en los refuerzos secundarios antes de parametrizar
Nota: Esfuerzo máximo 43.693 [MPa]

- Refuerzos terciarios

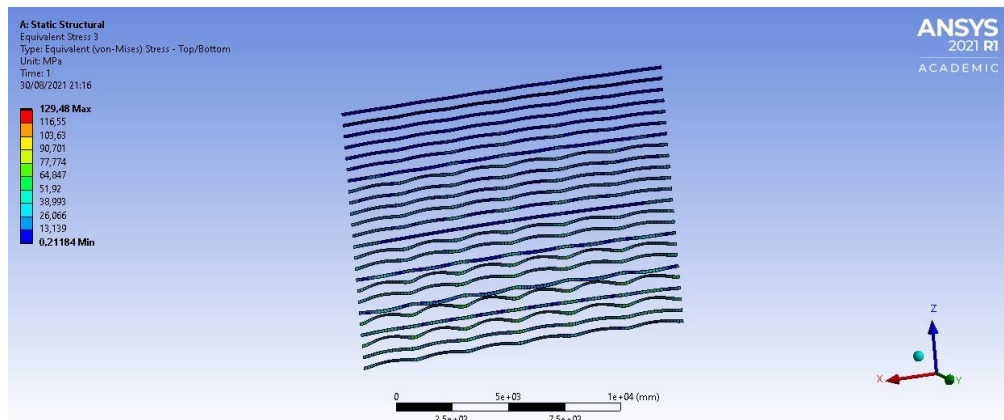


Figura 3.4 Distribución de esfuerzos en los refuerzos terciarios antes de parametrizar
Nota: Esfuerzo máximo 129.48 [MPa]

Se puede observar la mayor concentración de esfuerzos se encuentra en la parte inferior de la compuerta, algo lógico al tratarse de la zona que mayor carga presenta debido a que la carga hidrostática y la dinámica por sismo aumentan respecto a la profundidad del liquido. Siendo el refuerzo terciario, el elemento que sufre mayor esfuerzo con un valor de 129.48 [MPa].

3.2.2 Distribución de esfuerzos análisis con parametrización

- Pantalla

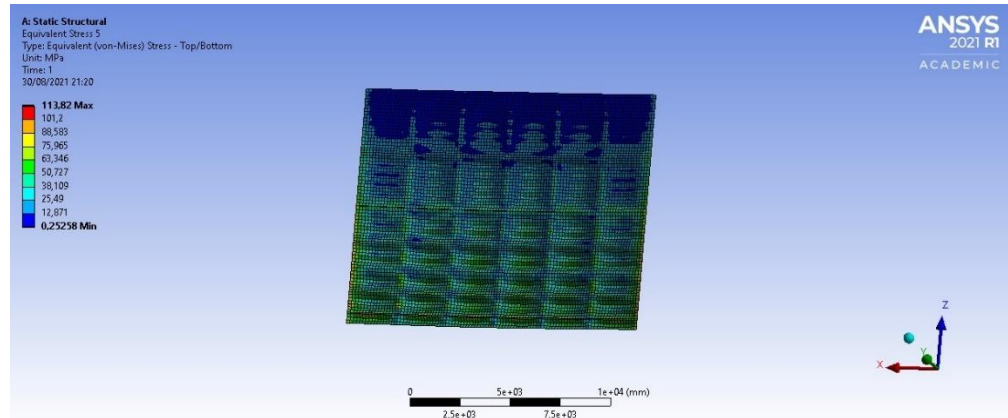


Figura 3.5 Distribución de esfuerzos en la pantalla
Nota: Esfuerzo máximo 113.82 [MPa]

- Refuerzos principales

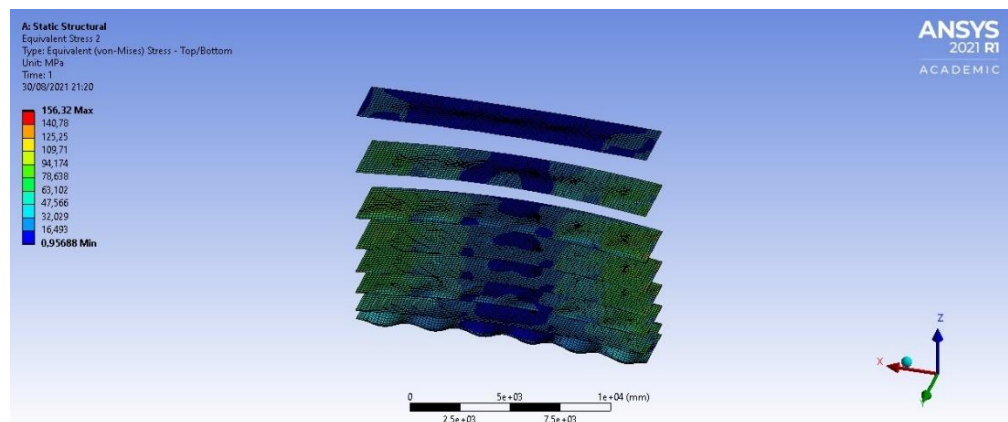


Figura 3.6 Distribución de esfuerzos en los refuerzos principales después de parametrizar
Nota: Esfuerzo máximo 156.32 [MPa]

- Refuerzos secundarios

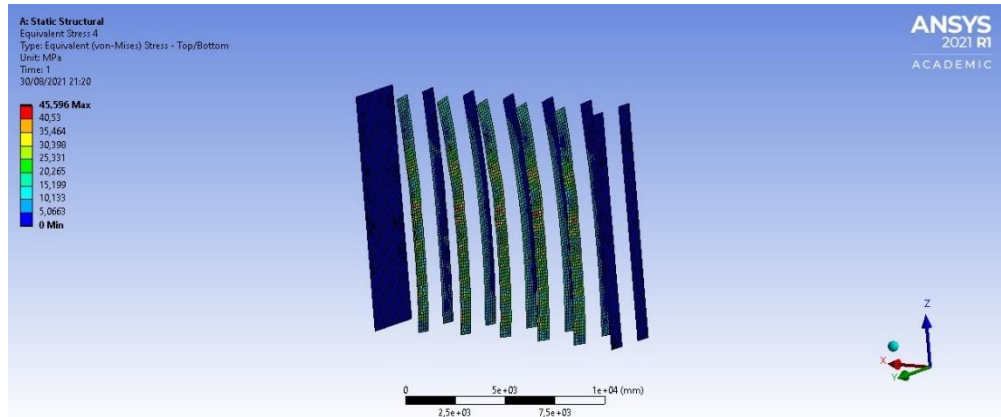


Figura 3.7 Distribución de esfuerzos en los refuerzos secundarios después de parametrizar
 Nota: Esfuerzo máximo 45.596 [MPa]

- Refuerzos terciarios

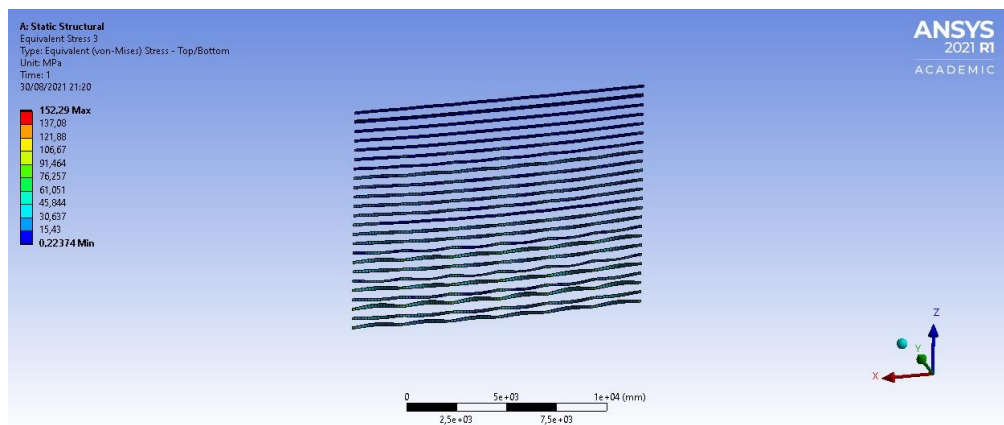


Figura 3.8 Distribución de esfuerzos en los refuerzos terciarios después de parametrizar
 Nota: Esfuerzo máximo 152.29 [MPa]

Al parametrizar se puede observar que el esfuerzo máximo se encuentra en el refuerzo principal, con un valor de 156.32, y se ha reducido 3.2 [mm] de espesor en los refuerzos principales y las pantallas anterior y posterior.

3.3 Análisis por criterio de falla

El análisis también se realizó en dos partes, con los esfuerzos máximos de Von Mises obtenidos del análisis sin parametrización y parametrizado, con estos valores se calculó el margen de seguridad con la ecuación 3.1, para cada caso, y cada elemento ya que tienen diferentes esfuerzos admisibles según la normativa NBR-8883.

$$n = \frac{\sigma_{adm/adm\ viga}}{\sigma_{VM}} \quad (3.1)$$

3.3.1 Factor de seguridad sin parametrizar

- Pantalla

$$n_{pantalla} = \frac{215 [MPa]}{93.072 [MPa]} = 2.31$$

- Refuerzos principales

$$n_{rp} = \frac{168 [MPa]}{118.78 [MPa]} = 1.41$$

- Refuerzos secundarios

$$n_{rs} = \frac{168 [MPa]}{43.693 [MPa]} = 3.85$$

- Refuerzos terciarios

$$n_{rt} = \frac{168 [MPa]}{129.48 [MPa]} = 1.29$$

El elemento que presenta menor factor de seguridad es el refuerzo terciario, esto es debido a que es el elemento que sufre una mayor cantidad de esfuerzo, y el que presenta un mayor factor de seguridad son

los refuerzos secundarios, esto es debido a que realmente están soportando menor carga, que los elementos horizontales.

3.3.2 Factor de seguridad con parametrización

- Pantalla

$$n_{pantalla} = \frac{215 [MPa]}{113.82 [MPa]} = 1.89$$

- Refuerzos principales

$$n_{rp} = \frac{168 [MPa]}{156.32 [MPa]} = 1.07$$

- Refuerzos secundarios

$$n_{rs} = \frac{168 [MPa]}{45.596 [MPa]} = 3.68$$

- Refuerzos terciarios

$$n_{rt} = \frac{168 [MPa]}{152.29 [MPa]} = 1.10$$

El factor de seguridad mínimo después de la parametrización es de 1.07 correspondiente a los refuerzos principales. Al comparar los resultados se puede notar que todos los factores de seguridad disminuyen, aunque solo se haya variado los espesores de las pantallas, y los refuerzos principales, esto es debido a que todos los elementos están interconectados.

Los que variaron en mayor cantidad fueron los factores de seguridad de la pantalla y refuerzos principales, reduciéndose en 0.42 y 0.34 respectivamente, esto es debido a que son los elementos que aportan mayor cantidad de inercia al movimiento como se muestra en la tabla 2.8,

además de ser los elementos a los que se les redujo el espesor; y los que menos variaron fueron los refuerzos secundario y terciarios con una reducción de 0.19 y 0.17, por lo que se puede decir que estos elementos se relacionan en menor medida a los otros elementos, ya que aportan menor cantidad de inercia.

3.4 Análisis por factibilidad de construcción

Como se puede observar en los planos ubicados en anexos, existe un acceso a cada uno de los elementos estructurales de la compuerta, por lo que su construcción es viable con la tecnología existente, además de ser segura, al poder construirse por secciones, de esta manera se disminuye el riesgo de accidentes por caída.

Por otro lado, al tener un acceso rápido y fácil por un costado de la compuerta en la que no hay presencia de líquido, permite realizar revisiones y mantenimiento a la estructura de una manera sencilla, por esto resulta factible la construcción según la geometría diseñada.

3.5 Costo de construcción de compuerta

El costo de los elementos de la compuerta se presenta en las tablas 3.1 y 3.2, su cálculo considera los elementos estructurales, las ruedas de apoyo para deslizamiento, motorreductor necesario para mover la compuerta, el costo de mano de obra de acuerdo con el peso de la compuerta, el proceso de sandblasting y soldadura de la compuerta.

Las tablas 3.1 y 3.2 muestran el costo de la compuerta con el espesor de la pantalla sin parametrizar y parametrizada, para notar la incidencia económica de esta reducción de espesor además de la repercusión en el peso de la estructura y la disminución del factor de seguridad de Von Mises.

La viabilidad económica de la implementación del proyecto debe tomar en cuenta la obra civil de dragado y puertos, de presupuestos, de insumos necesarios para la operación, y el impacto económico en las localidades cercanas.

Tabla 3.1 Costos de elementos y manos de obra de la estructura de una compuerta individual antes de parametrización

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio unitario [\$/Unidad]	Precio T [\$]
Planchas	Kg	121000	1,75	211.750,00
Mano de obra	Kg	121000	1,50	181.500,00
Motor	-	1	5000,00	5000,00
Ruedas	-	42	20,00	840,00
			Total	399.090,00

Tabla 3.2 Costos de elementos y manos de obra de la estructura de una compuerta individual despues de parametrización

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio unitario [\$/Unidad]	Precio T [\$]
Planchas	Kg	103000	1,75	180.250,00
Mano de obra	Kg	103000	1,50	154.500,00
Motor	-	1	5000,00	5.000,00
Ruedas	-	42	20,00	840,00
			Total	340.590,00

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Las cargas mas significativas ejercidas sobre la compuerta son la realizadas por la presión hidrostática, la dinámica por sismo, y la realizada por la corriente del agua, en ese orden de mayor a menor magnitud, siendo todas, cargas distribuidas.
- Las cargas dependen de la ubicación geográfica de la compuerta y de las dimensiones de esta, ya que son valores directamente relacionados con el calculo de las presiones.
- La ubicación de los elementos estructurales de la compuerta es importante para que cada uno soporte la misma cantidad de carga, dando como resultado una construcción mas viable, teniendo la mayor cantidad de elementos en la parte inferior, donde se concentra mayor presión.
- La pantalla y los refuerzos principales son planchas con espesor de 9,5 [mm], los refuerzos secundarios son dos planchas en forma de T con espesor de 12,7 [mm], y los terciarios dos planchas de 25,4 [mm] en forma de L.
- Los cálculos teóricos para la selección de los elementos de la estructura sirven para realizar un primer análisis de elementos finitos, debido a que en la simulación se puede lograr una optimización de la sección de estos.
- La parametrización sirve para optimizar las secciones de los elementos estructurales, reduciendo el peso y por consiguiente la potencia necesaria para mover la compuerta, así como el costo de la construcción.
- El valor mínimo de factor de seguridad es de 1.07, al reducir por medio de parametrización 3.2 [mm] de espesor en las planchas de la compuerta y de los refuerzos principales.
- La reducción del peso de la compuerta resultado de la parametrización del análisis de elementos finitos respecto al teórico es de aproximadamente 18 [Ton], reduciendo el costo de los materiales estructurales en \$31.500,00 y del costo de construcción en \$58.500,00.

- El factor de seguridad de 3.68 con respecto al criterio de falla indica que existe potencial de optimización en los refuerzos verticales, por lo que se puede optimizar el diseño en esos elementos.

4.2 Recomendaciones

- La parametrización de los refuerzos secundarios daría como resultado una optimización del peso de la compuerta cumpliendo a su vez con la normativa NBR-8883.
- Analizar la elección de otro tipo de distribución de los refuerzos de las compuertas para diferenciar los resultados entre los modelos planteados y poder discernir cual es el diseño con una mayor viabilidad de construcción.
- Realizar el modelo 3D con superficies sin espesor inicialmente para que sea factible realizar el proceso de parametrización en el software Ansys, al poder variar este parámetro en el programa.
- Determinar la viabilidad del uso de otros tipos de materiales para la construcción que permitan un menor costo de construcción y de peso de estructura.
- Realizar el flujo de tiempo de construcción de la estructura de la compuerta para determinar el costo de la mano de obra por costo hora hombre y discernir el método de pago mas viable económicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociacion Brasileña de Normas Tecnicas. (2008). *ABNT NBR 883 Segunda Edicion*. Brasilia: Weissman.
- Beer, F., Russel, J., & Mazurek, D. (2010). *Mecánica Vectorial para ingenieros*. Mexico: McGraw Hill Interamericana de España.
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de Mexico: Mc Graw Hill.
- Diaz, J. (2006). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Cali: Universidad del Valle.
- Erbisti, P. (2014). *Design of hydraulic gates 2nd edition*. London: Taylor & Francis Group.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2010). *Descripciones de las embarcaciones pesqueras de la costa ecuatoriana*. Instituto Nacional de Pesca.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos 6ta edición*. México: Pearson Education.
- Noboa, S., & Palacios, O. (2013). Caracterización preliminar de las corrientes marinas para la determinación de sitios potenciales de generación eléctrica en el Ecuador. *Perfiles*, 6.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach by Gerhard Pahl*. Springer.
- White, F. M. (2003). *Mecánica de Fluidos 5ta Ed*. Madrid: Mc Graw Hill.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Table 5.1 Coefficients for Allowable Stresses, Structural Elements.

Type of Stress	Load Case		
	Normal	Occasional	Exceptional
Tension and bending stress	0.68	0.76	0.89
Bending stress if a stability proof is required	0.59	0.68	0.79
Shear	0.39	0.44	0.51
Combined stress	0.76	0.82	0.92
Combined stress in the skin plate	0.87	0.87	0.92

Figura A.1 Coeficientes para esfuerzos admisibles

Fuente: NBR-8883

Table 5.3 k-Coefficient (NBR-8883).

b/a	Unfixed mounting of the 4 edges (a)		Rigid fixing of the 4 edges (b)				Rigid fixing of 3 edges and unfixed mount of the fourth edge (c)				(d)			
	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{4y}$	$\pm\sigma_{3x}$	$\pm\sigma_{1x}$	$\pm\sigma_{1y}$	$\pm\sigma_{2y}$	$\pm\sigma_{3x}$
∞	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

Table 5.4 α -Coefficient (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

Figura A.2 Coeficientes k para esfuerzos en elementos tipo plancha

Fuente: NBR-8883



Quick Details

Warranty:	12 months	Place of Origin:	Shandong, China
Brand Name:	ENN	Model Number:	TYPCX
Type:	Synchronous Motor	Frequency:	50-150HZ
Phase:	Three-phase	Certification:	CCC, ce
Protect Feature:	Waterproof,drip-proof	AC Voltage:	380v,690v,1140v,6kv,10kv
Efficiency:	IE4,IE5	Item:	High Torque 5 Hp 15-30 Hp Three Phase Electric Motor 550kw
Material:	Rare earth	Class of Insulation:	F(H)
Cooling type:	IC411 or IC416	Protection grade:	IP54(IP23 Customizable)
Housing:	cast iron,aluminum case	Control method:	Variable frequency vector control
Number of Poles:	4,6,8,10,20,32,48,64,100	Wire Type:	Junction box
Sample:	Available		

Figura A.3 Motor seleccionado

Fuente: Quingdao Enneng Machinery Co. Ltda.



IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA

RUC: 1792628431001
 Dirección: N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de Selis
 Celular: 0997 800 636 099 126 7562
 www.importaceros.com
 info@importaceros.com.ec

Cliente: MORAN CAICEDO WILMER JOSUE
 R.U.C.: 0953718749
 Dirección: GUAYAQUIL
 Telefonos: 0985375014 /

Cotización

CT00060335

PBX: 2 486 287

Fecha: 18-09-2021

Descripción	Cantidad	P.V.P	% Dcto	Valor Neto	Valor Total
TOOL NEGRO 10MM (3/8)	1.00	365.16	0.00	365.16	365.16

Peso Total Kgs : 233.70 Peso Total QQ : 5.14

Favor girar cheque cruzado a nombre de IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA
 Son: **Cuatrocientos Ocho Con 98/100**

Sub/Total:	365.16
Descuentos:	0.00
Valor Neto:	365.16
I.V.A.:	43.81
(=) Total Cotizado:	*****408.98

APROBADO:

Figura A.4 Cotización de material

APÉNDICE B

NORMA
BRASILEÑA

ABNT NBR
8883

Segunda edición
26.05.2008

Cálculo y fabricación de compuertas hidráulicas

Calculation and manufacture of hydraulic gates

Palabra clave: Compuerta hidráulica.

Descriptor: Hydraulic gate.

ICS 93.160

ISBN 978-85-07-00720-3



Número de referencia
ABNT NBR 8883:2003
42 páginas
©ABNT 2008

Donde:

- H_s es la presión horizontal debida al sedimento en el punto considerado, en metros de columna de agua;
- C_s es el factor de presión del sedimento (valores alternan de 0,40 a 0,60);
- γ_s es el peso específico del sedimento en el agua, expresado en kilonewtons por metro cúbico (KN/m³);
- d_s es la profundidad del punto estudiado con relación al nivel del sedimento, expresado en metros (m).

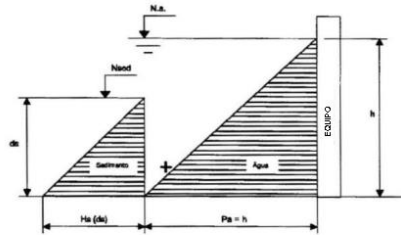


Figura 1 – Presión horizontal debida al sedimento

4.1.5.9 Onda

4.1.5.9.1 Las cargas debidas a las ondas superficiales se deben considerar en función de las condiciones locales.

4.1.5.9.2 En comportas de esclusas, se debe considerar un incremento de 0,25 mca, en caso que no se prescriban condiciones más desfavorables.

4.1.5.10 Estremecimiento sísmico

4.1.5.10.1 La influencia de sismos debe considerarse en el proyecto de las comportas, pudiendo su efecto ser simulado como una fuerza horizontal de intensidad igual a la masa de la comporta multiplicada por la aceleración sísmica horizontal probable en la región. Se debe verificar en el proyecto la posibilidad de la ocurrencia de resonancia y sus efectos.

4.1.5.10.2 La presión dinámica debida al sismo se puede calcular por la ecuación de Westergaard:

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

Donde:

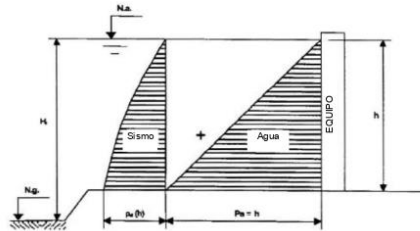
- P_d es la presión dinámica en el punto considerado, expresada en metros de columna de agua (m.c.a);
- γ es el peso específico del agua, expresado en tonelada fuerza por metro cúbico (t/m³);
- k es el factor debido al sismo (expresado como la relación entre aceleración horizontal debida al sismo y la aceleración de la gravedad: a/g);

ABNT NBR 8883:2008

H_s es la diferencia de cuota entre el nivel de agua (N.a.) y la profundidad del fondo del depósito (N.g.), expresa en metros (m);

h es la profundidad del punto estudiado con relación al nivel de agua, expresa en metros (m).

Figura 2 – Presión dinámica debida al sismo



4.1.5.11 Impacto y presión de hielo

Las influencias del impacto y de la presión de hielo se deben considerar en función de las condiciones locales.

4.1.5.12 Embarcaciones en comporta de esclusa

4.1.5.12.1 Impacto debido a las embarcaciones

Si hay la posibilidad de impacto de embarcaciones, se debe prever una estructura separada de la comporta para absorber este impacto.

4.1.5.12.2 Rozamiento debido a las embarcaciones

Las cargas provenientes del eventual rozamiento de las embarcaciones con las comportas de la esclusa en posición abierta deben considerarse.

4.1.5.13 Cargas vivas

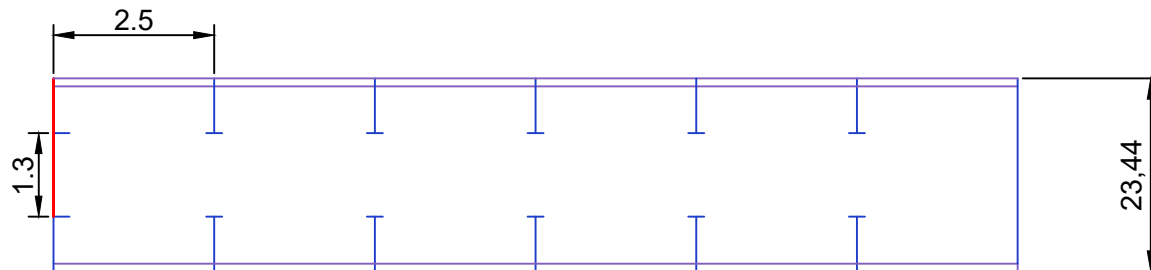
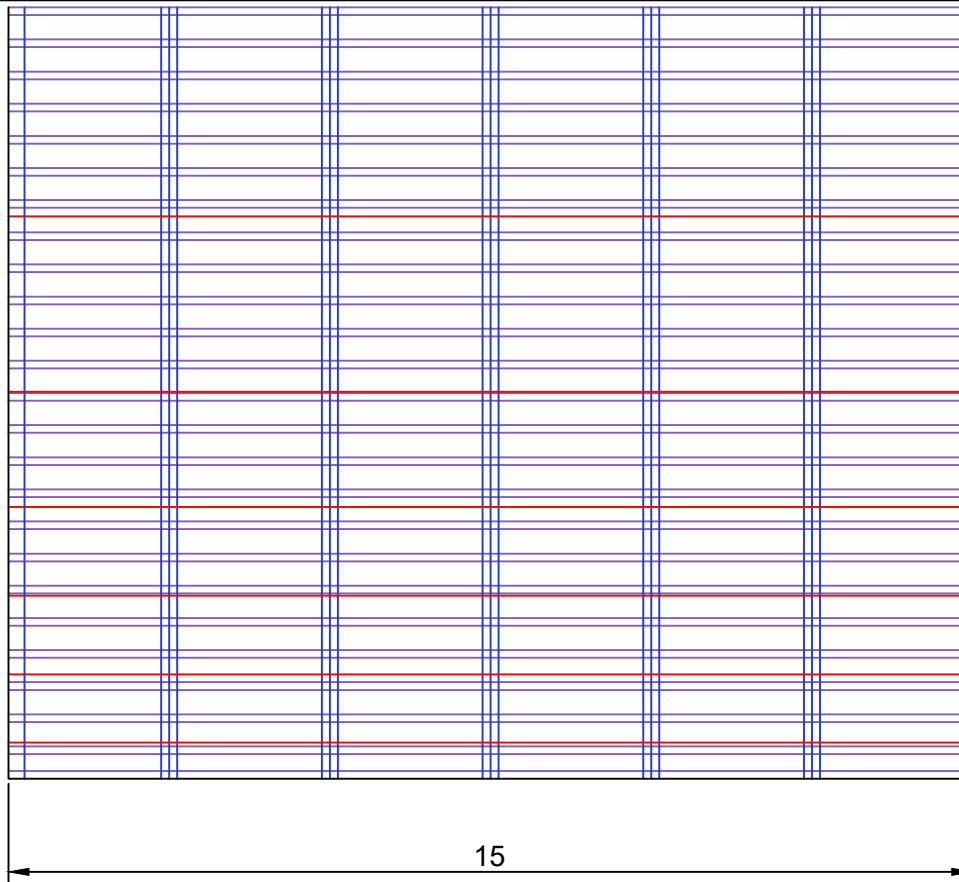
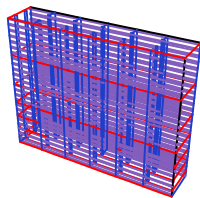
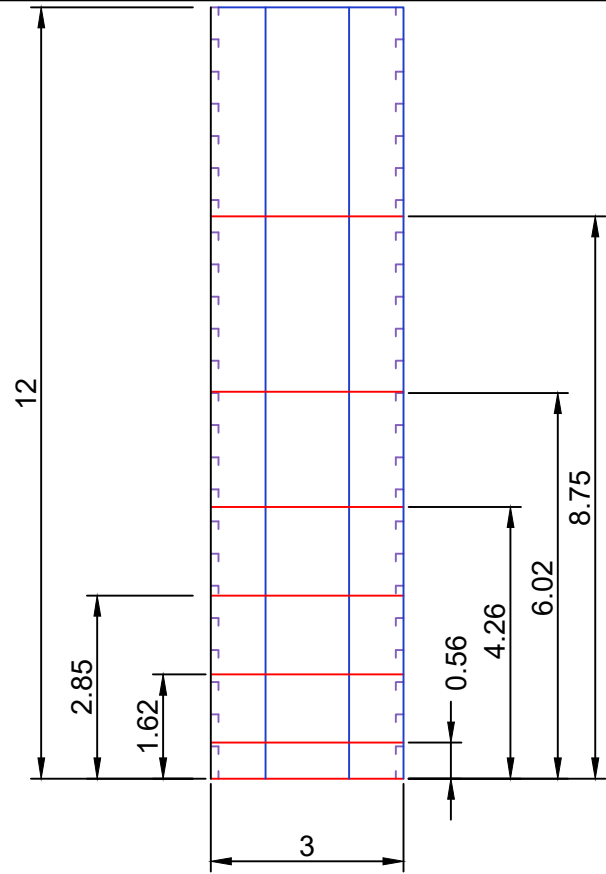
Las estructuras se deben verificar cuando sometidas a cargas vivas (pasarela, pasamano, tapa de ranura sometida a tránsito rodoviario, comportas previstas para servir como puente). El comprador debe especificar cuales son las cargas vivas sobre todos los componentes sujetos a ellas.

4.1.5.14 Fuerzas debidas a la inercia

Las estructuras deben verificarse cuando sometidas a fuerzas debido a la inercia. En el análisis de las estructuras pueden ser despreciadas las fuerzas debidas a las aceleraciones inferiores a $0,50 \text{ m/s}^2$, refiriéndose al centro de gravedad de la comporta o estructura analizada.

4.1.5.15 Transporte, montaje y reparaciones

Las acciones durante el montaje o durante las reparaciones en las comportas deben considerarse. las acciones durante el transporte se deben considerar sólo cuando sean necesarias.



	Fecha	Nombre	Proyecto	Diseño estructural de una compuerta de control de paso de pequeñas embarcaciones en un canal de ruta fluvial
Dibujado	2020/10/30	Boris Calle F		
Dibujado	2020/10/30	Wilmer Moran C		
Id. a. normas				
Escala:	1/1			Lamina n. 1
espol	ESPOL			unidades en metros
	Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción			Curso: Materia Integradora