



**Facultad de Ingeniería**  
**Ingeniería Mecánica**

**Tesis:**

**“Diseño de una Compuerta Hidráulica tipo  
Clapeta para Regular el Nivel de Embalse  
para las Turbinas Streamdriver para la  
Central Hidroeléctrica HER 1-Lima”**

**Jose Alfredo Quispe Arce**  
**para optar el Título Profesional de**  
**Ingeniero Mecánico**

**Asesor: Ing. Jorge Luis Rojas Rojas**

**Lima – Perú**  
**2018**

## DEDICATORIA

A mis padres Victor y Gladiz que siempre estuvieron ahí en los momentos importantes de mi vida.

A mi esposa Nancy y a mis hijos; Jarumi y Christopher que son la gran motivación de continuar esforzándome en cada meta que me propongo.

Al Ing. Oscategui Fulgencio Travezaño que fue un ejemplo y me mostro que con esfuerzo se puede salir adelante.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias y sobre todo felicidad y salud, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad y sobre todo el haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera.

A la Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener nuevos conocimientos y así culminar una profesión y ser una persona de bien a la sociedad.

## **RESUMEN**

El proyecto de la Central Hidroeléctrica HER 1 se basa en el aprovechamiento del recurso hídrico para una nueva generación de energía hidráulica y consiste en la colocación de dos turbinas de bajo salto y una compuerta que regula el nivel de embalse, ambos se ubican dentro del canal de descarga de la Central Hidroeléctrica Huampaní, antes de su devolución al río Rímac.

Esta nueva central aprovecha el agua ya turbinada como carga hidráulica para las dos turbinas StreamDivers™ y el control del embalse de agua es a través de una compuerta, luego de investigar, analizar y calcular se determinó que la compuerta adecuada es la de tipo Clapeta (Flap Gate).

Este presente trabajo de tesis tiene como objetivo desarrollar una metodología de diseño para una compuerta tipo clapeta. Esta compuerta debe controlar y soportar el nivel de embalse según requerimiento de las turbinas. Las dimensiones y la forma de la compuerta tipo clapeta se definen según el nivel de agua obtenido por el cálculo de la turbina.

Para elaborar el diseño se buscó información bibliográfica (libros, normas, tesis, reportes, etc.) que ayude al diseño de la misma, así como la experiencia en otros proyectos. De la



información obtenida se analizó y se realizaron cálculos para obtener el diseño más adecuado.

Los resultados muestran que la compuerta no llega a su estado de rotura para la condición de carga excepcional. El diseño de la compuerta es el adecuado para operar bajo las condiciones que requieren las turbinas StreamDivers™.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO 1.....	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
1.3. Formulación de los objetivos .....	4
1.4. Justificación e importancia.....	4
1.5. Limitaciones.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
1.6. Descripción del proyecto.....	8
1.7. Características técnicas del equipamiento principal.....	10
1.8. Características técnicas de la compuerta tipo clapeta .....	11
1.9. Central hidroeléctrica.....	12
1.10. Componentes de una central hidroeléctrica.....	12
1.11. Clasificación de las centrales hidroeléctrica.....	13
1.12. Embalse .....	14
1.13. Descripción y clasificación de las compuertas .....	15
1.14. Descripción de compuerta tipo clapeta .....	25
1.15. Sello de compuerta.....	27
1.16. Tipos de accionamientos para compuertas tipo clapeta.....	28
1.17. Operación.....	31
1.18. Ventilación o aireación.....	33
1.19. Demanda de aire .....	34
1.20. Referencia normativa.....	36

1.21.	Estática de fluidos.....	36
1.22.	Fluido incompresible.....	36
1.23.	Fuerzas hidrostáticas sobre superficies sumergidas.....	37
1.24.	Fuerzas hidrostáticas sobre una superficie plana sumergida.....	38
1.25.	Teoría de la Energía de Distorsión .....	40
1.26.	Criterio de máxima tensión de von Mises .....	41
1.27.	Computacional Fluid Dynamics.....	41
CAPÍTULO 3.....		43
MARCO METODOLÓGICO .....		43
1.28.	Antecedentes de la investigación.....	44
1.29.	Desafíos de múltiples facetas en la presa de Mátala, Por Anthony Martiniello ...	44
1.30.	Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales, elaborado por Jhon Córdova-Carmen.....	46
1.31.	Metodología para el control de riesgos en compuertas radiales de descarga de fondo para grandes presas, elaborado por José D. Vera Rodríguez.....	47
1.32.	Análisis, Simulación y Evaluación de los Esfuerzos y Deformaciones, entre el Método Analítico y el Método de Elementos Finitos, de una Compuerta Tipo Vagón para Desagüe de Fondo, elaborado por David E. Mera Orlando.....	47
1.33.	Modalidad de la investigación.....	48
1.34.	Tipo de investigación.....	48
1.35.	Formulación de Hipótesis .....	48
1.36.	Hipótesis general.....	48
1.37.	Hipótesis específicas .....	48
1.38.	Plan de recolección de datos.....	49
1.39.	Plan del procesamiento y análisis de la información .....	50
CAPÍTULO 4.....		52
DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....		52

1.40.	Consideraciones para inicio del diseño.....	53
1.41.	Partes de la compuerta tipo clapeta.....	54
1.42.	Alcance y especificaciones de la compuerta.....	54
1.43.	Consideraciones para el diseño de la forma del skin plate.....	56
1.44.	Consideraciones de los elementos de estanqueidad .....	61
1.45.	Sistema de izaje .....	67
1.46.	Requerimiento de aireación .....	70
1.47.	Divisores de flujo de agua.....	73
CAPÍTULO 5.....		75
CÁLCULOS .....		75
1.48.	Datos según especificaciones técnicas.....	76
1.49.	Resumen - datos entrada para el diseño de la compuerta .....	81
1.50.	Fuerza resultante aplicadas al skin plate .....	82
1.51.	Esfuerzos admisibles para el skin plate .....	85
1.52.	Calculo skin plate.....	86
1.52.1.	Sujeciones .....	86
1.52.2.	Cargas en compuerta abierta.....	87
1.52.3.	Mallado para análisis por elementos finitos .....	88
1.52.4.	Cargas en la compuerta posición cerrada .....	91
1.52.5.	Resultados del análisis del skin plate .....	94
1.53.	Cálculo de la fuerza de izaje.....	94
1.54.	Peso de compuerta ( $W_c$ ) .....	94
1.55.	Diagrama de cuerpo libre.....	96
1.56.	Soportes de cilindro de hidráulicos .....	100
1.56.1.	Material y geometría del soporte de cilindros hidráulicos .....	100
1.56.2.	Sujeciones del soporte de cilindros hidráulicos .....	102

1.56.3. Aplicación de las cargas y mallado del soporte de cilindros hidráulicos para el análisis por elementos finitos .....	103
1.56.4. Simulación del soporte de los cilindros hidráulicos.....	104
1.56.5. Resultados del análisis del soporte de cilindros hidráulicos .....	106
1.57. Datos de selección del cilindro hidráulico .....	107
1.58. Pin de izaje.....	107
1.58.1. Geometría de pin de izaje .....	108
1.58.2. Diagrama de fuerza cortante y momentos en pin de izaje.....	110
1.58.3. Resultados del análisis del pin de izaje .....	110
1.59. Base y pin de articulación .....	111
1.59.1. Material y geometría de la base de articulación .....	112
1.59.2. Sujeciones de la base y pin de articulación .....	113
1.59.3. Aplicación de las cargas y mallado para el análisis por elementos finitos.....	115
1.59.4. Simulación de base de articulación .....	116
1.59.5. Resultados base de articulación.....	119
1.60. Dimensionamiento del ducto de aireación .....	119
CAPÍTULO 6.....	123
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	123
2. ....	123
2.1. Análisis de Costo.....	124
CONCLUSIONES .....	128
RECOMENDACIONES.....	130
NDICE DE ANEXOS.....	132
GLOSARIO.....	133
BIBLIOGRAFÍA.....	135

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1 Esquema general del proyecto [1].....	6
Figura 1.2 Modelo físico, escalara geométrica 1/24. ....	6
Figura 2.1. Vista general de la turbina Streamdriver y la compuerta a ser instalada en el proyecto [1].....	8
Figura 2.2. Compuerta clapeta con un solo accionamiento y dos muñones de giro [3]. ...	11
Figura 2.3. Tabla de clasificación de centrales hidroeléctricas [4].....	13
Figura 2.4. Vertedero de la presa Faraday, río Clackamas, Oregón. ....	14
Figura 2.5. Embalse para turbinas StreamDivers™ [1]. ....	15
Figura 2.6. Compuerta tipo clapeta, Ancho de 16.85m y altura de 3.3m (cortesía .....	16
Figura 2.7. Cylinder gate, Vianden Powerplant [6]. ....	17
Figura 2.8. Ataguías para mantenimiento de compuerta segmento [6]. ....	18
Figura 2.9 Stainless Steel slide gate (cortesía de FONTAINE) [6].....	19
Figura 2.10 Compuerta de rodillos [6]. ....	21
Figura 2.11. Compuerta tipo Rodillo [6].....	22
Figura 2.12. Compuerta tipo Segmento [6]. ....	23
Figura 2.13. Compuerta tipo sector [6].....	23
Figura 2.14. Compuerta tipo vagón [6].....	24
Figura 2.15. Versiones de las compuertas tipo clapeta [7]. ....	25
Figura 2.16. Tipos y formas de compuertas [7]. ....	27
Figura 2.17. Sello bisagra para compuerta de aleta articulada inferior [7].....	28
Figura 2.18. Disposiciones típicas del mecanismo de funcionamiento de la compuerta de aleta. (A) Por tensión; (B) por compresión; (C) por torsión [7].....	29
Figura 2.19. Pistones hidráulicos para las compuertas de la presa de Sihlhofe dam (ZWAG) [6]. ....	30
Figura 2.20. Compuerta de inclinación automática. ....	31

Figura 2.21. Receso en la vía de descarga para permitir la retracción completa de la compuerta de aleta bajo condiciones de inundación [7].	32
Figura 2.22. Sistema de derivación para limpiar los residuos acumulados aguas abajo de una compuerta clapeta [7].	33
Figura 2.23. Presión expresada en términos de la altura de un fluido.	37
Figura 2.24. Fuerzas hidrostáticas sobre una superficie plana vertical.	39
Figura 2.25. Superficie plana sumergida.	39
Figura 3.1. Compuerta tipo clapeta existente.	46
Figura 4.1. Diagrama de flujo para inicio de la elaboración del diseño.	53
Figura 4.2. Modelo 3D de la compuerta tipo clapeta.	54
Figura 4.3. Arreglo general de la compuerta tipo clapeta – Central hidroeléctrica de HER 1.	55
Figura 4.4. Protección del sello inferior [6].	56
Figura 4.5. Deformación del skin plate en el extremo libre	57
Figura 4.6. Bocinas de Bronce se realizó 4 marcas a cada 90° para verificación de concetricidad, luego se instaló en cada ojal de la compuerta.	59
Figura 4.7. Bocina Guía lateral y central.	59
Figura 4.8. Dimensiones de skin plate.	60
Figura 4.9. Compuerta tipo clapeta fuga en los sellos laterales.	61
Figura 4.10. Perfil de sello tipo single-stem J-seal	62
Figura 4.11. Sello silbato.	63
Figura 4.12. Maquinado de platina Inoxidable para asiento de sello.	64
Figura 4.13. Maquinado de platina Inoxidable para asiento de sello instalaciones GCZ ingenieros SAC.	65
Figura 4.14. Maquinado en la hoja de compuerta	66
Figura 4.15. Sello en solera.	67
Figura 4.16. Compuerta Clapeta con accionamiento aguas arriba	68

Figura 4.17. Compuerta clapeta con accionamiento aguas abajo .....	69
Figura 4.18. Posición de trabajo de la compuerta clapeta.....	70
Figura 4.19. Detalle de las características geométricas de la napa vertiente en un vertedero en pared delgada, convenientemente aireada [17]. .....	71
Figura 4.20. Presiones negativas bajo la compuerta para 100, 75 y 50% de abertura .....	72
Figura 4.21. Cálculo de carga sobre el vertedero.....	73
Figura 4.22. Napa vertiente dividida por los divisores de flujo de agua [1]. .....	74
Figura 5.1. Presión Hidrostática vs altura de agua. ....	77
Figura 5.2. Presión Dinámica vs altura de agua.....	79
Figura 5.3. Presión Equivalente. ....	80
Figura 5.4. Distribución de presión Hidrostática .....	82
Figura 5.5. Fuerza resultante compuerta posición cerrada. ....	83
Figura 5.6. Fuerza resultante compuerta posición abierta.....	84
Figura 5.7. Coeficientes para esfuerzos admisibles elementos estructurales [6].....	85
Figura 5.8. Sujeción inferior tipo bisagra fija, compuerta posición abierta y cerrada.....	86
Figura 5.9. Sujeción superior tipo geometría fija, compuerta posición abierta y cerrada. ....	86
Figura 5.10. Aplicación de la carga de gravedad, compuerta posición abierta. ....	87
Figura 5.11. Aplicación de la carga de presión desde el nivel de embalse, compuerta posición abierta. ....	87
Figura 5.12. Diagrama de flujo empleado para verificación de error de desratización [21]. .....	88
Figura 5.13. Mallado, compuerta posición abierta.....	89
Figura 5.14. Gráfica de la distribución del factor de desplazamiento, compuerta posición abierta. ....	89
Figura 5.15. Esfuerzos de Von Mises, compuerta posición abierta. ....	90
Figura 5.16. Gráfica de la distribución del factor de seguridad, compuerta posición abierta. .....	90



Figura 5.17. Aplicación de la carga de gravedad, compuerta posición cerrada.....	91
Figura 5.18. Aplicación de la carga de presión, compuerta posición cerrada. ....	91
Figura 5.19. Mallado, compuerta posición cerrada.....	92
Figura 5.20. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de Von Mises, compuerta posición cerrada. ....	92
Figura 5.21. Gráfica de la distribución de las deformaciones, compuerta posición cerrada. .....	93
Figura 5.22. Gráfica de la distribución del factor de seguridad, compuerta posición cerrada. .....	93
Figura 5.23. Peso de la compuerta .....	95
Figura 5.24. Diagrama de cuerpo libre, compuerta cerrada. ....	97
Figura 5.25. Diagrama de cuerpo libre, compuerta abierta. ....	98
Figura 5.26. Coeficientes para esfuerzos admisibles para elementos estructurales [6].	100
Figura 5.27. Dimensiones de soporte de cilindros hidráulicos.....	101
Figura 5.28. Base de cilindro embebido en concreto.....	102
Figura 5.29. Sujeción de Anclajes.....	102
Figura 5.30. Sujeción de hormigón. ....	103
Figura 5.31. Aplicación fuerza de diseño. ....	103
Figura 5.32. Aplicación fuerza axial de diseño. ....	104
Figura 5.33. Mallado. ....	104
Figura 5.34. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de Von Mises, soporte de cilindros hidráulicos. ....	105
Figura 5.35. Gráfica de la distribución de las deformaciones, soporte de cilindros hidráulicos. ....	105
Figura 5.36. Gráfica de la distribución del factor de seguridad, soporte de cilindros hidráulicos. ....	106
Figura 5.37. Coeficientes para esfuerzos admisibles elementos mecánicos [6]. ....	108

Figura 5.38. Dimensiones de pin de izaje .....	109
Figura 5.39. Distribución de Fuerzas .....	109
Figura 5.40. Diagrama de fuerzas cortantes pin de izaje. ....	110
Figura 5.41. Diagrama de momento flector en el pin de izaje.....	110
Figura 5.42. Dimensiones de base y pin de articulación. ....	113
Figura 5.43. Base de articulación sujeción geometría fija. ....	114
Figura 5.44. Base de articulación sujeción sobre caras planas. ....	114
Figura 5.45. Contacto sin penetración entre pin y base de articulación.....	115
Figura 5.46. Sujeción sobre caras cilíndricas, restringe el desplazamiento axial del pin. .....	115
Figura 5.47. Aplicación de la fuerza resultante, compuerta posición cerrada. ....	116
Figura 5.48. Mallado, compuerta posición abierta.....	116
Figura 5.49. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de Von Mises.....	117
Figura 5.50. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de von Mises mayores a 50 MPa. .....	117
Figura 5.51. Gráfica de deformaciones .....	118
Figura 5.52. Gráfica de la distribución del factor de seguridad.....	118
Figura 5.53. Coeficiente de demanda de aire para una compuerta de desbordamiento [7]. ....	121

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de la central hidroeléctrica HER 1 [2].....	9
Tabla 2.2. Características principales de la turbina Streamdivers [1]. .....	10
Tabla 2.3. Características principales del generador [1].....	10
Tabla 3.1. Clasificación de documentos.....	50
Tabla 3.2. Cuadro resumen de tercera revisión. ....	51
Tabla 4.1. Propiedades generales del sello lateral e inferior .....	62
Tabla 4.2. Presiones negativas bajo la compuerta para 100, 75 y 50% .....	72
Tabla 5.1. Datos de especificaciones técnicas.....	76
Tabla 5.2. Datos para determinar la presión debido al sedimento y sismo.....	77
Tabla 5.3. Presión Equivalente. ....	81
Tabla 5.4. Resumen de cargas para el diseño.....	81
Tabla 5.5. Datos de compuerta posición cerrada. ....	82
Tabla 5.6. Datos de ubicación de fuerza resultante posición cerrada.....	83
Tabla 5.7. Datos de compuerta posición abierta. ....	84
Tabla 5.8. Datos de ubicación de fuerza resultante posición abierta.....	84
Tabla 5.9. Datos de esfuerzos – caso de carga normal. ....	85
Tabla 5.10. Skin plate resultados obtenidos con el caso de carga excepcional:.....	94
Tabla 5.11. Fuerzas que intervienen en la compuerta.....	96
Tabla 5.12. Metrado de fuerzas. ....	100
Tabla 5.13. Esfuerzos – Caso de carga excepcional. ....	101
Tabla 5.14. Base de Cilindros resultados esfuerzos, deformación y factor de seguridad. .....	106
Tabla 5.15. Esfuerzos admisibles elementos mecánicos. ....	108
Tabla 5.16. Resultados esfuerzos, deformación y factor de seguridad, soporte de cilindros. .....	111
Tabla 5.17. Esfuerzos admisibles base de articulación.....	112

Tabla 5.18. Resultados esfuerzos, deformación y factor de seguridad, base de articulación. .....	119
Tabla 6.1. Costos.....	127

## LISTA DE ABREVIATURAS

Fr	: Numero de Froude
$\alpha$	: Coeficiente que depende de la altura de caída de la napa
B	: Ratio de flujo de aire y flujo de agua
P	: Presión [Pa]
Pe	: Presión hidrostática equivalente [Pa]
$\gamma$	: Peso específico del agua [kgf/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_e$	: Peso específico equivalente [kgf/m <sup>3</sup> ]
$\rho$	: Densidad del agua [kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	: Aceleración de la gravedad [m/s <sup>2</sup> ]
F	: Fuerza [N]
Fr	: Fuerza resultante, en el centro de presiones [N]
Fi	: Fuerza de izaje nominal / Fuerza de izaje por cilindro [N]
Fic	: Fuerza de izaje en los cilindros hidráulicos [N]
Lv	: Longitud de vano [m]
Ac	: Altura de Compuerta [m]
Q	: Caudal [m <sup>3</sup> /s]
Cs	: Cota de solera [msnm]
Cna	: Cota de nivel normal de agua [msnm]
Cma	: Cota de nivel máximo de agua [msnm]
Hn	: Carga de agua normal [m]
Hm	: Carga de agua máxima [m]
$\sigma_y$	: Esfuerzo de fluencia [MPa]
$\sigma_u$	: Esfuerzo de Tracción [MPa]
E	: Módulo de elasticidad [GPa]
$\rho_{ac}$	: Densidad del acero [kg/m <sup>3</sup> ]
Z	: Factor de zona sísmica

Pd : Presión dinámica del agua [KN/m<sup>2</sup>]  
Hc : Profundidad del centroide "y" [m]  
Yc : Profundidad del centroide [m]  
Ix : Momento de Inercia [m<sup>4</sup>]  
As : Área sumergida [m<sup>2</sup>]  
DCL : Diagrama de cuerpo libre  
Sd : Sección útil del ducto de aireación  
Vd : Velocidad máxima de demanda de aire  
Ct : Carrera de trabajo  
Dv : Diámetro de vástago  
Aa : Área anular [m<sup>2</sup>]  
Dc : Diámetro del cilindro [m]  
Ac : Área del cilindro [m<sup>2</sup>]  
Pt : Presión de trabajo  
FEA : Análisis de elementos finitos  
ASA : Asociación Estándar Americana  
ASTM : American Society for Testing and Materials  
DIN : DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG

## **INTRODUCCIÓN**

Las centrales hidroeléctricas como proceso inicial tienen que almacenar grandes cantidades de agua que posteriormente se emplearán como energía hidráulica, para ello se tienen que instalar estructuras metálicas tales como; compuertas, rejas, tranquilizadores, etc. Por tanto, se tiene que elaborar diseños y cálculos que aseguren su correcto funcionamiento y resistencia a las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas producidas por el agua.

Este trabajo de tesis desarrolla una metodología de diseño para una compuerta tipo clapeta y sus componentes más importantes. Estas tendrán la función de almacenar y regular el nivel embalse para la producción de energía eléctrica a través de las turbinas StreamDivers, el diseño y cálculo de las compuertas tipo clapeta sigue las recomendaciones indicadas por la norma DIN19704 y NBR 8883-2008.

El material utilizado para el diseño del skinplate (pantalla), base de cilindro hidráulico y los apoyos de articulación son de acero estructural ASTM A36. El sistema de izaje para la apertura y cierre se realiza a través de dos cilindros hidráulicos.

En el capítulo 2 se muestra el marco metodológico que sigue el presente trabajo de tesis, el plan de recolección y clasificación de datos es a través del método sistemática de información Kitchenham.

En el capítulo 4 se desarrolla aspectos y consideraciones para el diseño de la geometría del skinplate, selección de sistema de izaje, selección de sellos y si el sistema requiere ductos de aireación.

En el capítulo 5 se desarrolla el cálculo de la estructura del skinplate, base del sistema de izaje, y las bases de articulación a través de un modelo 3D con el software SolidWorks, donde aplicaron las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas.



## **CAPÍTULO 1**

### **ASPECTOS GENERALES**

## 1.1. Planteamiento del problema

“En los últimos 20 años, la producción de electricidad aumentó 186% hasta alcanzar 48.3 miles de GWh en 2015. La mayor generación eléctrica para el uso de la población y empresas ha permitido que Perú mantenga un ritmo de crecimiento sostenido durante la última década” (Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Carlo Vilches (Editores) (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin. Lima, Perú).

Las centrales hidroeléctricas son el método de producción de energía limpia que aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador; eléctrico; para la implantación de las centrales se necesitan obras de tipo Civil, Mecánico, Eléctrico, Hidráulico, etc.

En las obras de tipo mecánico los ingenieros deben proveer el diseño de los equipos hidromecánicos como compuertas planas, radiales, rejas, etc.

La central hidroeléctrica HER 1 tendrá 2 turbinas Streamdivers™ y para garantizar la máxima eficiencia de estas se debe contar con una compuerta que regule la carga hidráulica y para estas aplicaciones se usa una compuerta, esta compuerta debe trabajar en la parte superior de las turbinas y cuando las turbinas salgan de operación tendrá función de vertedero.

Actualmente no existe ninguna instalación de este tipo en el Perú y para el diseño no se cuenta con una metodología definida, si bien existen otros tipos de compuertas y normas, estas no abarcan todo el proceso de diseño y fabricación de las compuertas hidráulicas tipo clapeta.

El presente trabajo de tesis pretende dar a conocer una metodología de diseño considerando los aspectos más importantes que afectan el diseño de la compuerta hidráulica tipo clapeta, y así lograr un diseño óptimo y necesario para esta central hidroeléctrica sin embargo los resultados pueden aplicarse para otros proyectos.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cómo elaborar el diseño de una compuerta hidráulica tipo clapeta para regular el nivel de embalse de las turbinas Streamdriver para la central hidroeléctrica HER 1 ubicado en Lurigancho, Lima?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo seleccionar los materiales y definir las dimensiones que tendrá la compuerta hidráulica tipo clapeta cumpliendo con los requisitos técnicos y de operación?
- ¿Cómo evaluar y comparar los esfuerzos y deformaciones sobre la compuerta tipo clapeta bajo condiciones de operación?
- ¿Por qué verificar el comportamiento de la compuerta cuando cumpla la función de vertedero?
- ¿Cómo elaborar planos de detalle y fabricación con los detalles y especificaciones que permitan una correcta fabricación y montaje en sitio?

### **1.3. Formulación de los objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Elaborar una metodología de diseño de compuerta hidráulica tipo clapeta para regular el nivel de embalse para las turbinas Streamdriver para la mini central hidroeléctrica HER 1 ubicado en Lurigancho, Lima.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar los materiales considerando las propiedades mecánicas y los esfuerzos hidráulicos producidos por los embalses de agua
- Simular mediante elementos finitos las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas sobre la compuerta en posición de apertura y cierre.
- Optimizar la dimensión del ducto de aireación para evitar vibraciones durante la operación de compuerta cuando cumpla la función de vertedero.
- Elaborar los planos empleando las normas y reglamentos de dibujo, cumpliendo las especificaciones técnicas del proyecto.

### **1.4. Justificación e importancia**

El presente estudio se justifica desde el punto de vista técnico porque se dará a conocer una metodología de diseño para una compuerta hidráulica que se usará en el canal de descarga de una central hidroeléctrica existente y así se optimizara el recurso hídrico y se disminuirá los costos de operación de la nueva central hidroeléctrica.

Actualmente no existe este tipo de central hidroeléctrica en el Perú ya que la tecnología de este tipo de turbina es nueva para el país. Para el control del embalse de agua en las

diferentes centrales hidroeléctricas del Perú se emplean comúnmente compuertas hidráulicas tipo radial o plana, esta sería la primera compuerta tipo clapeta a instalarse en una central hidroeléctrica.

El estado peruano mediante el DL 1002, de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables; fomenta y plantea beneficios para la generación limpia de energía eléctrica, teniendo como fuentes generación; hidráulica, solar, biomasa, geotérmica y mareomotriz.

Se justifica desde el punto de vista teórico porque la metodología que se seguirá en esta tesis consistirá en el estado del arte disponible en libros, normas de observaciones de otras compuertas anteriormente diseñadas, etc. Los cálculos se basan en la norma NBR 8883-2008, para el Cálculo y manufactura de compuertas hidráulicas y la DIN – 19704, Hydraulic Steel Structures: Criteria For Design And Calculation. La estructura de cálculo ha sido adoptada del libro Erbiste, P. (2014), Design of hydraulic Gates - 2da edición, también se harán verificaciones usando software de diseño CAD, FEA como AutoCAD y SOLIDWORKS®.

## **1.5. Limitaciones**

No se cuenta con experiencia en el diseño de este tipo de compuertas, se cuenta con diseños similares (compuertas radiales) pero no se tiene una metodología para el diseño de estas compuertas ya que no son comunes en las centrales hidroeléctricas del Perú, la información que dispone el área de ingeniería sobre los elementos de estanqueidad e izaje son muy generales.

No se realizó un modelo físico del sistema, se calcularon los caudales en base al número de Froude de la descarga sobre la compuerta clapeta para una escala geométrica = 1/24.

A fin de comprender el comportamiento del flujo sobre la compuerta, se desestimó el modelo físico debido a motivos económicos y de tiempo, pero se simuló usando el Software ANSYS FLUENT.

En la figura 1.1 se muestra el esquema general del proyecto y una compuerta que mantendrán el nivel de agua y garantizará el paso del agua en caso alguna de las unidades este fuera de servicio, estos diseños estarán previstos para dimensionarla para un caudal máximo de  $21 \text{ m}^3 / \text{s}$ .

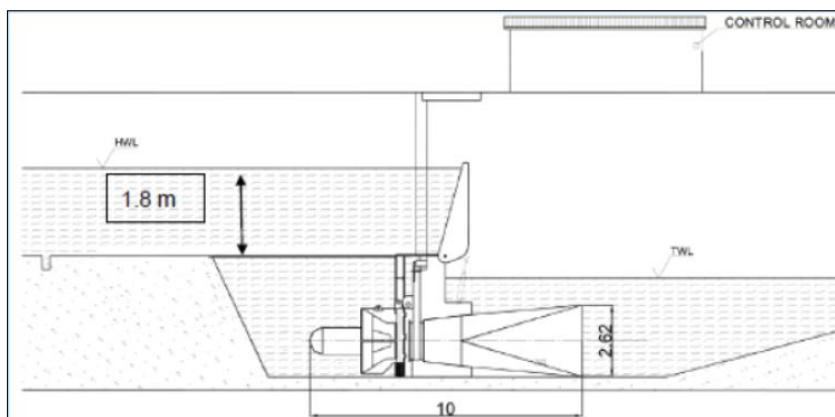


Figura 1.1 Esquema general del proyecto [1].

En la figura 1.2 se muestra las dimensiones del modelo físico a una escala geométrica de  $1/24$  y será fabricado de plancha metálica de espesor  $0.8 \text{ mm}$ , para un caudal máximo de  $7.4 \text{ litros/s}$ .

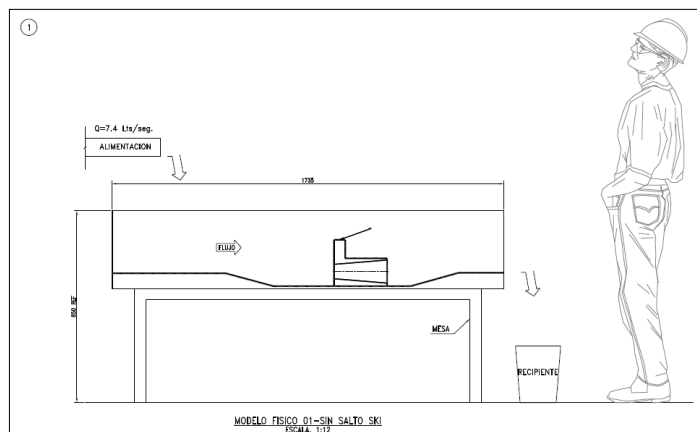


Figura 1.2 Modelo físico, escala geométrica  $1/24$ .

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

## 1.6. Descripción del proyecto

El proyecto se ubica aguas abajo de la casa de máquinas de la Central Hidráulica Huampaní, ubicada en el distrito de Lurigancho en la provincia y departamento de Lima.

El proyecto contempla la instalación de dos turbinas sumergidas en el canal de descarga de la central existente, con una potencia total de 0,7 MW. El beneficio de este proyecto es aprovechar el caudal turbinado de la CH Huampaní para generar una producción media de 5,4 GWh/año [1].

Como obras civiles se prevé los módulos sumergidos de cada unidad con un sistema de compuertas automático para permitir la descarga de agua en caso de corte de una o ambas unidades de generación. También se tiene previsto un canal Bypass para ejecución de las obras. En la figura 2.1 se muestra una vista general de la tecnología a implementar:

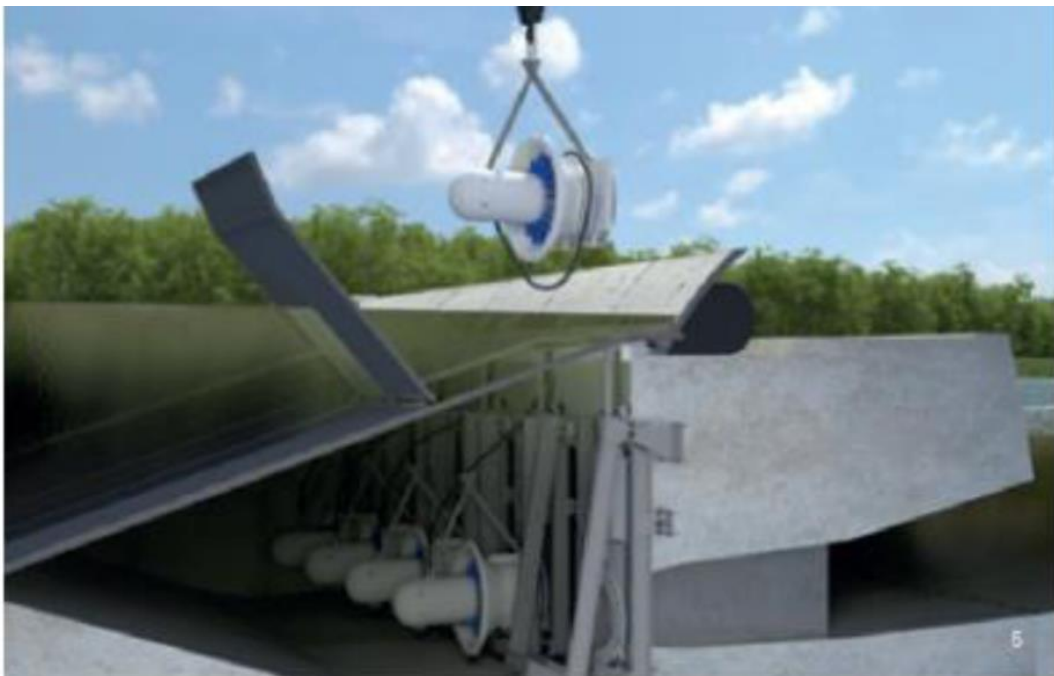


Figura 2.1. Vista general de la turbina Streamdriver y la compuerta a ser instalada en el proyecto [1].



En la tabla 2.1 se detalla las principales características de la central hidroeléctrica HER 1, perteneciente al Grupo ENEL quienes se comprometieron con el estado poner en funcionamiento en diciembre del 2018.

EMPRESA CONCESIONARIA		ENEL GENERACIÓN PERÚ	
La central tendrá una capacidad de 0,7 MW, que se obtendrá mediante el aprovechamiento de los ríos Rímac y Santa Eulalia, con una altura neta de 4,5 m y un caudal nominal de 18 m <sup>3</sup> /s. La conexión al SEIN se realizará a través de la L.T. 10 kV S.E. Her 1 - S.E. Huampani, de simple terna de 0,14 km.			
UBICACIÓN			
Departamento	Lima		
Provincia	Lima		
Distrito	Lurigancho		
Altitud	650 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL			
Potencia Instalada	0,7 MW		
Tipo de Central	De pasada		
Salto Neto – Salto Bruto	4,5 m -		
Caudal Nominal	18 m <sup>3</sup> /s		
Recurso Hídrico	Rios Rímac y Santa Eulalia		
DATOS DE LA TURBINA	Turbina G1	Turbina G2	
Tipo de Turbina	De hélice	De hélice	
Potencia Nominal	0,35 MW	0,35 MW	
Caudal Nominal	9 m <sup>3</sup> /s	9 m <sup>3</sup> /s	
Marca	VOITH/KÖSSLER	VOITH/KÖSSLER	
Año de Fabricación	2017	2017	
DATOS DEL GENERADOR	G1	G2	
Potencia Nominal	0,39 MVA	0,39 MVA	
Tensión de Generación	0,4 kV	0,4 kV	
Factor de Potencia	0,9	0,9	
Marca	VOITH/KÖSSLER	VOITH/KÖSSLER	
Año de Fabricación	2017	2017	
DATOS DEL TRANSFORMADOR	T1		
Potencia Nominal	0,8 MVA		
Relación de Transformación	0,4/10+-2x2,5% kV		
Marca	VOITH/KÖSSLER		
Año de Fabricación	2017		
DATOS DE CONTRATO	HITOS		
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	14.02.2017 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	31.03.2018
Energía Ofertada	4,66 GWh/año	Inicio de Obras	16.08.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	58,20 US\$/MWh	Inicio de Montaje	01.03.2018
Puesta en Operación Comercial	30.06.2018	POC	30.06.2018
INFORMACIÓN RELEVANTE			

Tabla 2.1. Características de la central hidroeléctrica HER 1 [2].

## 1.7. Características técnicas del equipamiento principal

### Turbina

Las características de las turbinas consideradas para el proyecto se presentan en la tabla 2.2.

Parámetros	Unidad	Valor
Número de unidades	Un.	2
Tipo de turbina		Hélice
Velocidad	rpm	300
Caudal total del proyecto	m <sup>3</sup> /s	18
Eficiencia de la turbina para caudal nominal	%	90
Caudal nominal por unidad	m <sup>3</sup> /s	9
Salto Neto para caudal nominal	M	4.5
Potencia nominal en el eje de Turbina	kW	350

Tabla 2.2. Características principales de la turbina Streamdivers [1].

### Generador

El generador será del tipo síncrono de imanes permanentes, es decir será auto excitado, sus principales características se presentan en la Tabla 2.3:

Descripción	Característica
Tipo	3Ø –Síncrono
Excitación	Imanes permanentes
Arreglo	Vertical
Potencia Nominal kVA	389
Voltaje E(V)	400
Factor de potencia COSΦ	0.90
Velocidad	300 rpm
Frecuencia	60 Hz
Conexión	Estrella aterrada

Tabla 2.3. Características principales del generador [1].

## 1.8. Características técnicas de la compuerta tipo clapeta

### Dimensiones

- Vano: 6.00 m
- Elevación solera: 636.27 msnm
- Nivel de Agua Normal: 638.62 msnm
- Nivel de Agua Máxima: 638.62 msnm

### Materiales

- Estructura: Acero ASTM A-36 o similar
- Pines de Izaje: Acero AISI 304 o similar

### **Accionamiento**

- Automático

### Las Unidades de Medida

Se usará el Sistema Internacional de Medidas SI en todos los documentos, cálculos, correspondencia, planos, etc.

En la figura 2.2 se ilustra una compuerta tipo clapeta de 12m instalada en el cauce del río con la finalidad de desviar el agua hacia la zona de los barrajes para conducirlo al canal de irrigación.



Figura 2.2. Compuerta clapeta con un solo accionamiento y dos muñones de giro [3].

### **1.9. Central hidroeléctrica**

Una central hidroeléctrica puede definirse como una instalación donde se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua (Energía cinética y potencial) situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel superior (Cámara de carga), hasta un nivel inferior (Casa de maquina) en el que se ubican una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por la carga hidráulica (agua) y que a su vez hacen girar uno o varios generadores, produciendo energía eléctrica [4].

### **1.10. Componentes de una central hidroeléctrica**

Las centrales hidroeléctricas se pueden dividir en dos grandes conjuntos. En el primero, se ubican las obras civiles, equipos hidromecánicos, etc. Y cuya misión almacenar y encauzar el agua. A continuación, se indican:

- Presas
- Tomas, aliviaderos, desarenadores y compuertas
- Galería de aducción
- Cámara de carga y chimeneas de equilibrio
- Tuberías forzadas y válvulas
- Canal de descarga

En el segundo conjunto, lo conforman los equipos electromecánicos, sistemas de control, etc., mediante los cuales se llega a obtener la energía eléctrica. A continuación, se indican [4]:

- Turbinas hidráulicas y regulador de velocidad
- Alternador, excitación y regulador de velocidad

- Servicios auxiliares
- Control y protección

### 1.11. Clasificación de las centrales hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas se clasifican según su potencia según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) y según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) [5], como se muestra en la tabla 2.3.

Región	Institución	Micro Central	Mini Central	Pequeña Central
Mundial	ONUUDI	< 100 kW	101-2000 kW	2000-10000 kW
Latinoamérica	OLADE	< 50 kW	51-500 kW	500-5000 kW

Figura 2.3. Tabla de clasificación de centrales hidroeléctricas [4].

### Según el salto de agua

#### Centrales de alta presión

Aquí se incluyen aquellas centrales en las que el valor del salto hidráulico es superior a los 200 m, siendo relativamente pequeños los caudales desalojados, alrededor de unos  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  por máquina. Están ubicadas en zonas de alta montaña, de donde aprovecha el agua de torrentes que suelen desembocar en lagos naturales [4].

#### Centrales de media presión

Se consideran como tales, las que disponen de saltos hidráulicos comprendidos entre 20 y 200 m, aproximadamente, desaguando caudales de hasta  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  por cada turbina. Dependen de embalses relativamente grandes, formados en valles de media montaña [4].

## **Centrales de baja presión**

Se incluyen, en esta denominación, las que, asentadas en valles amplios de baja montaña, el salto hidráulico es inferior a 20 m, estando alimentada cada máquina por caudales que pueden superar los  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  [4].

### **1.12. Embalse**

Se denomina embalse a la acumulación de agua producida por la construcción de una presa sobre el lecho de un río o arroyo, la cual cierra parcial o totalmente su cauce.

En la figura 2.4 se ilustra un vertedero de presa que regula el nivel de embalse a de dos compuertas tipo clapeta, las compuertas trabajan en posición cerrada durante todo el año.



Figura 2.4. Vertedero de la presa Faraday, río Clackamas, Oregón.

En la figura 2.5 se ilustra un arreglo preliminar de la compuerta y turbina a ser instalada en la central hidroeléctrica HER1.



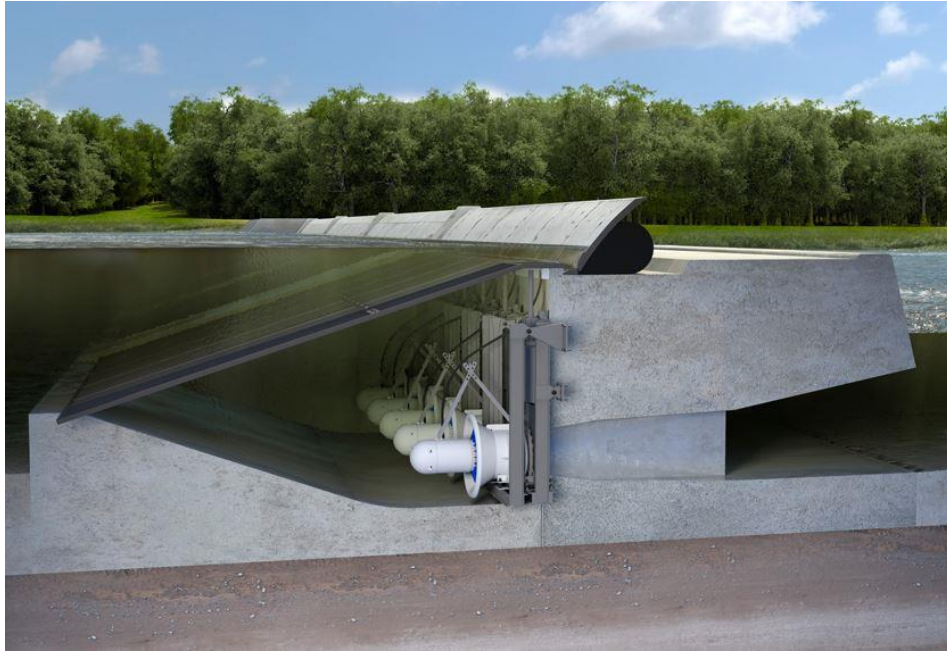


Figura 2.5. Embalse para turbinas StreamDivers™ [1].

### 1.13. Descripción y clasificación de las compuertas

Las compuertas son equipos Hidromecánicos 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 se tiene:

#### **Compuerta tipo clapeta (flap gate)**

Este tipo de compuerta consiste en una superficie de retención recta o curvada, pivotada sobre un eje fijo en el umbral. Cuando está diseñado con una hoja con la forma de un

vientre de pescado, puede ser operado desde un extremo para vanos de hasta 20 m, ya que la estructura de cáscara cerrada ofrece alta resistencia contra la torsión. Los cojinetes están rígidamente anclados al umbral y espaciados de 2.5 m a 4 m.

En su posición totalmente elevada, la compuerta de clapeta hace un ángulo de 60 a 70 grados con la horizontal [6].

En la figura 2.6 se ilustra una compuerta tipo clapeta accionada por medio de cadenas y un motor eléctrico esta configuración en la actualidad se está reemplazando por un accionamiento con cilindros hidráulicos.

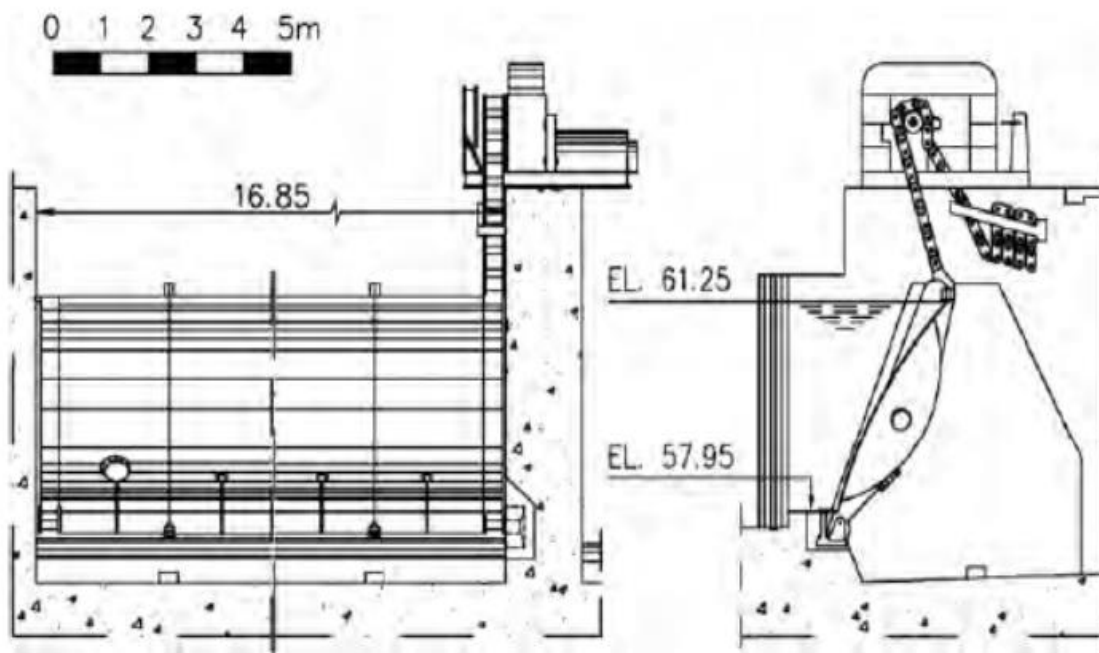


Figura 2.6. Compuerta tipo clapeta, Ancho de 16.85m y altura de 3.3m (cortesía de ALSTOM) [6].

### **Compuerta tipo cilindro (cylinder gate)**

La compuerta de cilindro tiene una hoja de forma cilíndrica, que ejecuta un movimiento de traslación vertical. Las compuertas de los cilindros están generalmente diseñadas para su



uso en estructuras de torre de admisión; Se pueden diseñar para la presión externa o interna [6].

El levantamiento de la compuerta descubre los puertos laterales dispuestos radialmente en la torre, a través de los cuales pasa el agua. Generalmente el cierre hermético superior se atornilla sobre las partes embebidas y contacta permanentemente con la superficie cilíndrica exterior de la compuerta, evitando el paso del agua incluso para aberturas parciales. El sello inferior se fija en la hoja; Cuando la puerta está cerrada, el sello se apoya contra la estructura del umbral [6].

En la figura 2.7 se ilustra una compuerta tipo cilindro, este tipo de compuerta no tiene aplicación para en centrales hidroeléctricas, su construcción es compleja y costosa.

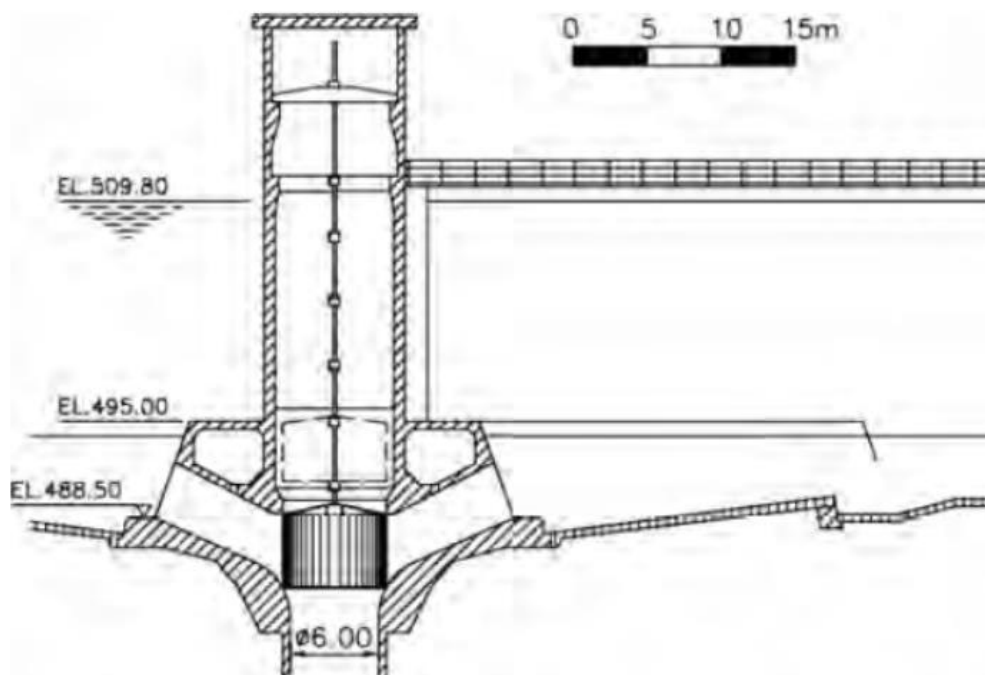


Figura 2.7. Cylinder gate, Vianden Powerplant [6].

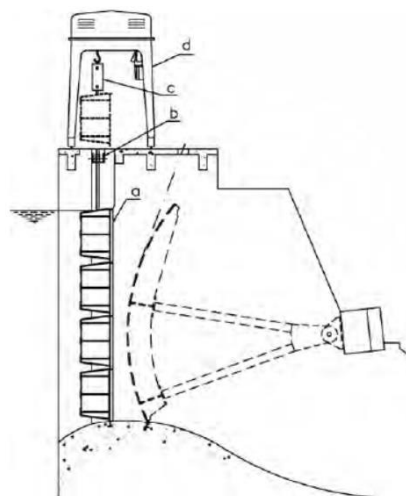
## Ataguías (stoplogs)

Ataguías se utilizan principalmente para el mantenimiento y reparación de equipos principales o compuertas, se puede utilizar en:

- Aguas arriba de las puertas de admisión.
- Aguas arriba de las compuertas de los vertederos.
- Aguas arriba y aguas abajo de las salidas inferiores, cuando el nivel de agua más alto que el umbral de la compuerta.
- Aguas abajo de las turbinas o de las compuertas de emergencia del canal de descarga.

Su construcción es similar a la de la compuerta corredera: no tienen ruedas o rodillos, excepto en los casos infrecuentes y particulares de guías inclinadas o de cierre del flujo de agua a través de la bajada de las ataguías [6].

En la figura 2.7 se muestra cuatro ataguías una encima de otra esta configuración es típica ya cuando se tiene una gran altura del vano, esta a su vez son montadas y desmontadas a través de una viga pinza o viga pescadora.



Spillway stoplogs. (a) stoplog panel; (b) dogging device; (c) lifting beam; (d) gantry crane.

Figura 2.8. Ataguías para mantenimiento de compuerta segmento [6].

### **Compuerta tipo corredera (slide gate)**

La compuerta tipo corredera es el tipo más simple de compuerta plana. Consiste básicamente en una hoja de compuerta que se desliza a lo largo de guías laterales incrustadas o fijadas al hormigón. La hoja está provista de superficies deslizantes, usualmente metálicas, que bajo contacto apretado en las superficies de apoyo actúan como sellos [6].

En la figura 2.9 se observa una compuerta plana, gracias a su operación sencilla y segura y porque requiere poco mantenimiento, la compuerta corredera se utiliza en gran medida como un dispositivo de control en los canales de riego, las obras de alcantarillado.



Figura 2.9. Stainless Steel slide gate (cortesía de FONTAINE) [6].

### **Compuerta de rodillos (caterpillar gate)**

La compuerta de Rodillos consta principalmente de una hoja sostenida por viguetas verticales en los lados. Los trenes de rodillos continuos del tipo oruga se montan alrededor de las vigas verticales. Los trenes de rodillos viajan con la compuerta. La baja fricción en los rodillos y su alta capacidad de carga recomiendan el uso de las compuertas de tipo oruga en la instalación del alto-cabeza que requiere el cierre sea por su propio peso, más que las compuertas fijas-rueda [6].

Las principales desventajas de este tipo de compuertas en relación con las compuertas de rueda fija son:

- Mayores costos iniciales.
- Mayores costes de mantenimiento resultantes de una gran cantidad de piezas móviles.
- La necesidad de un ajuste de alta precisión entre la banda de rodadura del rodillo y las pistas de rodillos.
- Para un funcionamiento adecuado posibilidad de fallo en algunos rodillos o pasadores que puedan comprometer el funcionamiento del tren de rodillos.
- Posibilidad de daños a los rodillos debido a la carga excéntrica resultante de la compuerta deflexión de la hoja, que requiere la construcción de vigas horizontales de inercia.

En la figura 2.10 se muestra que la compuerta de oruga comprende básicamente de una placa de acero, vigas horizontales, vigas verticales, trenes de rodillos y sellos. La placa de acero puede colocarse aguas arriba o aguas abajo, así como también los sellos. Un diseño interesante es la compuerta de oruga de la presa de San Luis, EE. UU., Hecha en dos secciones, cada una con un par de trenes de rodillos [6].

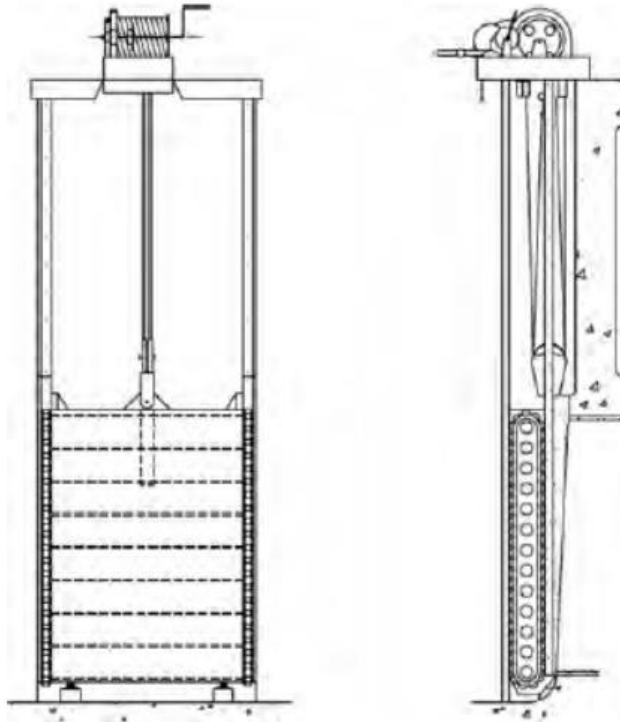


Figura 2.10. Compuerta de rodillos [6].

### **Compuerta de rodillo (roller gate)**

Las compuertas de rodillos son cilindros de acero horizontales con engranajes dentados provistos en cada extremo.

Los bastidores se colocan en los muelles a lo largo de los rebajes de la vía. Estas puertas se utilizaron con éxito en los países del norte, donde grandes masas de hielo flotante y bajas temperaturas solían obstaculizar o incluso bloquear el funcionamiento de las puertas convencionales. Generalmente se utilizan en presas de baja altura y en instalaciones donde se desea una amplia abertura entre los muelles para el paso de hielo o desechos [6].

En la figura 2.11 se ilustra la ubicación de los estantes que son colocados en los muelles a lo largo de los huecos de la vía.

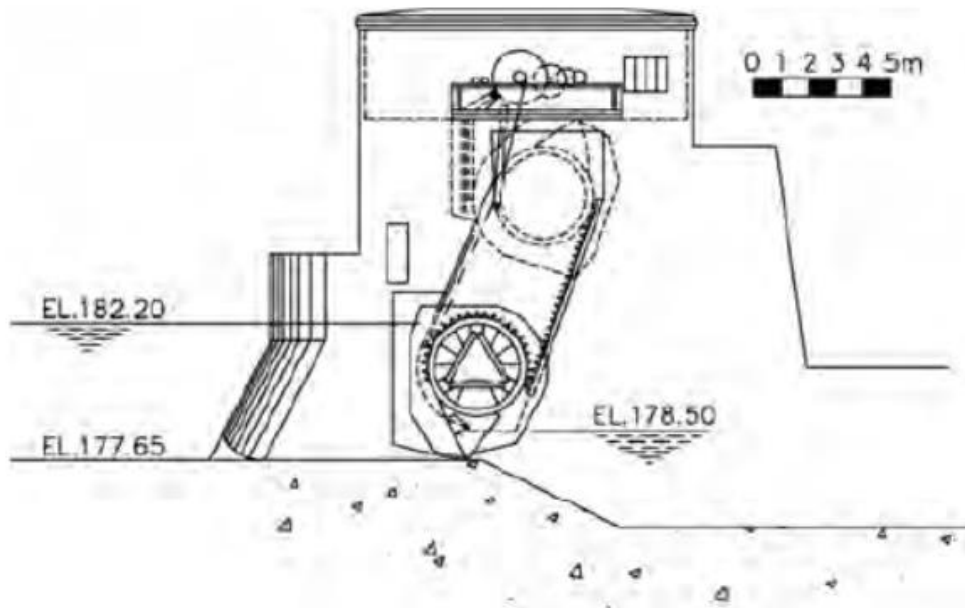


Figura 2.11. Compuerta tipo Rodillo [6].

### **Compuerta tipo segmento (segment gate)**

La compuerta de segmentos en su forma más simple consiste en una placa de piel curvada formada de un segmento de cilindro, soportada por brazos comprimidos radiales que transfieren las fuerzas hidráulicas a cojinetes fijos.

La compuerta de segmento gira alrededor de un eje horizontal, que pasa a través del centro de soporte y por lo general coincide con el centro del radio de curvatura de la placa de la piel. Mediante esta disposición, el empuje resultante de la presión del agua pasa a través del punto de rotación y no tiene tendencia a abrir o cerrar la compuerta [6].

En la figura 2.12 se ilustra una compuerta radial de 10 m de radio accionada a través de un cable metálico. Este tipo de accionamiento es poco confiable ya que el cable al estar sumergido se empieza a corroer y ya no es flexible y presenta problemas a enrollarse en las poleas.

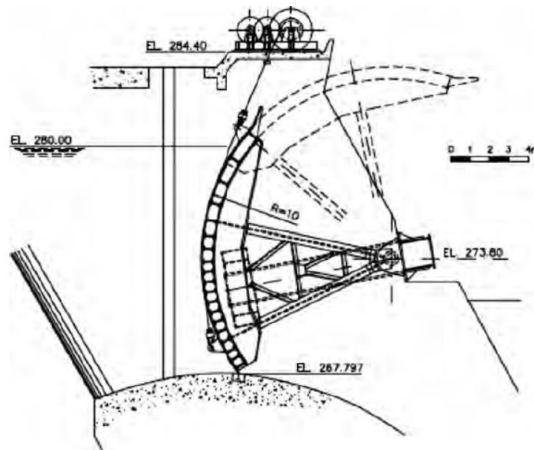


Figura 2.12. Compuerta tipo Segmento [6].

### Compuerta tipo sector (sector gate)

La compuerta tipo sector tiene una placa de piel curvada como la de la compuerta de segmento, pero continúa en su parte superior por una superficie completa, en la dirección radial, hasta los cojinetes, dando al perfil de hoja la apariencia de un sector circular. Esta puerta está articulada en el lado aguas abajo y su hoja tiene la forma de un cuerpo abierto en su lado radial inferior tal como se muestra en la figura 2.13.

Los primeros diseños de puertas de sector proporcionan también el cierre del lado inferior, produciendo una sección cerrada en forma de un sector real, de ahí su nombre [6].

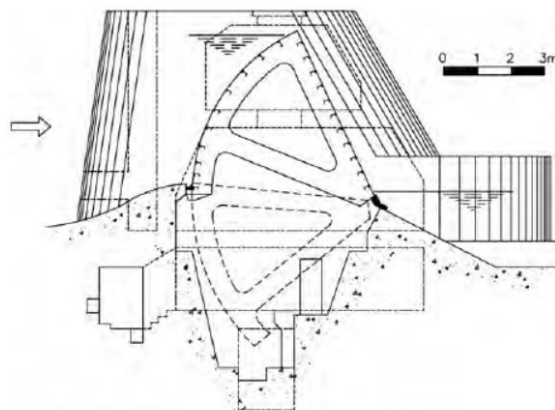


Figura 2.13. Compuerta tipo sector [6].

### **Compuerta tipo vagón (fixed-wheel gate)**

La compuerta de rueda fija es ciertamente el tipo de compuerta más común y consiste básicamente en hojas, ruedas, ejes y juntas. En general, la hoja está formada por una placa de piel plana y rigidizada por vigas horizontales y nervaduras. En cada lado de la hoja, los extremos de las vigas horizontales se sueldan a una viga vertical. Las ruedas se montan en ejes fijados lateralmente a la hoja en las vigas verticales y tienen la doble función de reducir las fuerzas de fricción y la transmisión de la carga de agua a las partes incrustadas [6].

En la figura 2.14 se muestra una compuerta vagón con ocho ruedas las cuales deben tener contacto con las guías laterales durante la operación y por llevan un eje excéntrico.

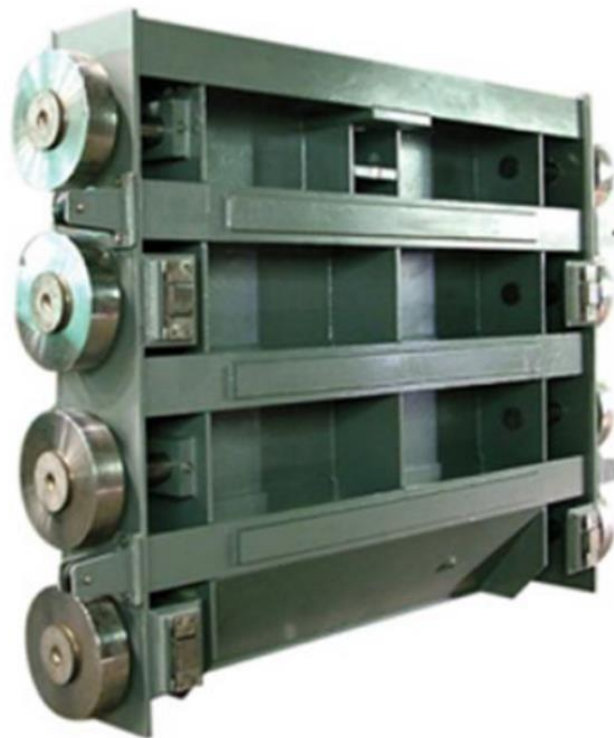


Figura 2.14. Compuerta tipo vagón [6].



#### 1.14. Descripción de compuerta tipo clapeta

En los ríos de marea, las compuertas con bisagras inferiores se utilizan para evitar la entrada de agua salada o cuando se aplican consideraciones ambientales especiales. Debido a que las compuertas de tipo clapeta se descargan por desbordamiento, los desechos flotantes se pueden limpiar sin tener que introducir una solapa separada o una sección de inclinación como en las compuertas de descarga inferior.

La figura 2.15 ilustra diferentes versiones de las compuertas de tipo clapeta con bisagra inferior. La figura 2.15(a) muestra una compuerta de clapeta accionada por un cilindro hidráulico situado debajo de la compuerta. Esto puede presentar dificultades en el servicio del cilindro cuando el nivel de agua aguas abajo no cae por debajo del nivel del lecho aguas abajo. La figura 2.15 (b) muestra una disposición en la que el cilindro de accionamiento está alojado en los muelles. Un tubo de torsión transmite la fuerza de operación lateralmente. Si el eje de accionamiento pasa a la cámara del muelle, el sello se suma a la complejidad de este diseño. La figura 2.15(c) muestra un solo cilindro de operación situado en el lado de la compuerta. La estructura de estas compuertas se hace rígida torsionalmente y toma a menudo la forma de un "vientre de pez" [7].

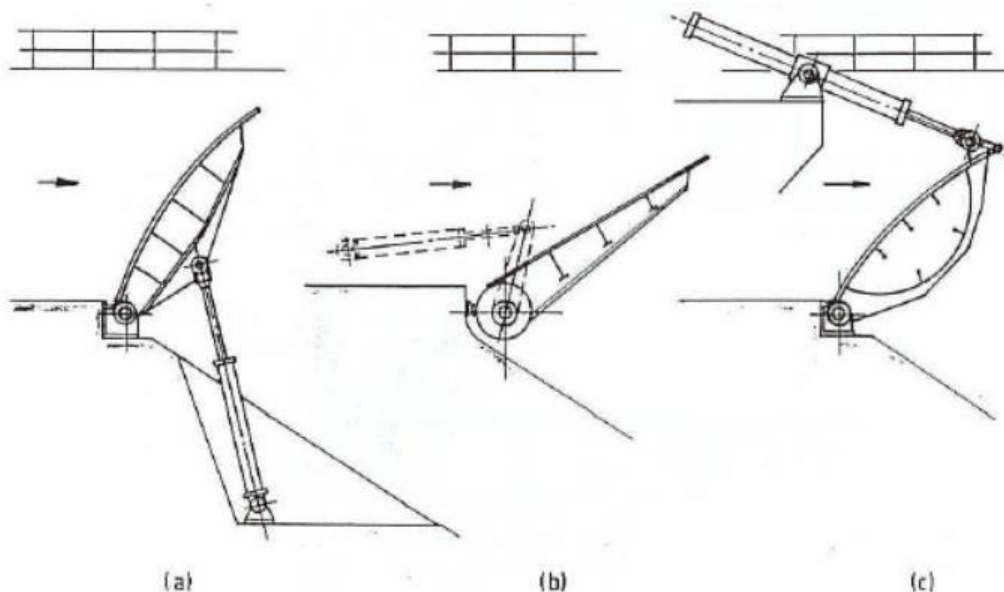


Figura 2.15. Versiones de las compuertas tipo clapeta [7].

Las compuertas con bisagras inferiores se abren inclinándolas en sentido descendente hasta que quedan planas o forman el perfil de cresta requerido para evitar la separación del flujo. Por lo general, se sellan a lo largo del borde articulado mediante una tira de caucho plana flexible fijada al miembro de umbral incrustado y extendida para apoyarse contra la cara de aguas arriba de la placa de la compuerta. Y se han desarrollado diseños que sujetan el sello tanto al umbral como a la placa frontal de la compuerta. Es esencial un sellado lateral durante todo el recorrido de la compuerta, ya que los restos de agua se extienden hasta cualquier parte, cualquier material atrapado es comprimido o acuñado y hay un peligro de que la compuerta se atasque. Los pilares empotrados tampoco son recomendados por razones hidráulicas. Por lo tanto, es una buena práctica para los sellos laterales barrer las paredes de la compuerta a lo largo del movimiento total de las compuertas. Esto requiere placas laterales mecanizadas, de construcción fundida o fabricada, empotradas a ras de la estructura civil [7].

Se han construido compuertas de solapa con bisagras inferiores que obturan contra la cara de hormigón de un pilar o un muelle. Esto requiere que la tolerancia de la cara de hormigón sean tipos de compuertas  $\pm 3$  mm a lo largo de ambos ejes sobre la distancia de movimiento de la compuerta. Mientras que esto ahorra el coste de las placas laterales encajadas, exagera el desgaste en los sellos y aumenta los costes de la construcción debido a los requisitos para la exactitud y el final del concreto [7].

Los diseños de sellos para las compuertas pueden variar su forma según su requerimiento:

En la figura 2.16 se muestran los diferentes tipos y formas de compuerta hidráulicas:

- (a). Vertical-lift gate
- (b). Radial gate
- (c). Sumergible radial gate

- (d). Bottom-hinged flap gate
- (e). Mitre gate
- (f). Drum gate
- (g). Doublé leaf vertical-lift gate
- (h). vertical-lift gate with flap
- (i). bear-trap gate
- (j). cylinder gate
- (k). vertical-lift tunnel gate
- (l). culvert valve (reverse tainter gate)

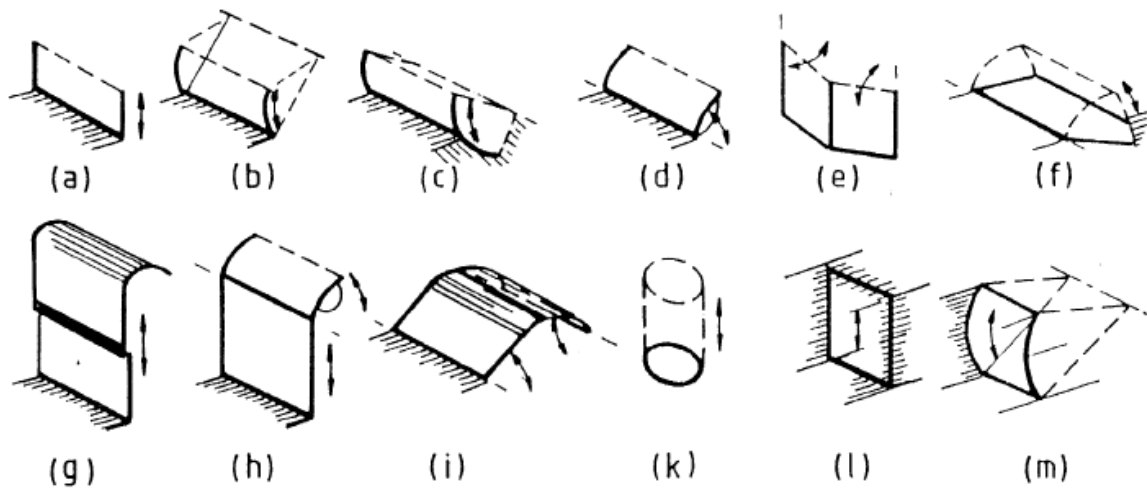


Figura 2.16. Tipos y formas de compuertas [7].

### 1.15. Sello de compuerta

La compuerta tipo clapeta lleva sellos en la parte lateral e inferior (zona de bisagra). No existe mucha información bibliográfica disponible sobre los sellos que aplican a este tipo de compuerta, según el libro “Hydraulic Gates and Valves in Free Surface Flow and Submerged” recomienda usar un tipo silla.

Para el sellado de la compuerta clapeta véase la figura 2.17 donde se muestra la disposición de un sello de bisagra para resistir sólo la carga aguas arriba. El sellado en la solera está haciendo tope a la pared de la compuerta. Para hacer un sellado eficaz se requiere un ajuste rápido que no siempre se alcanza. La transición entre los sellos laterales y los de solera también presenta problemas [7].

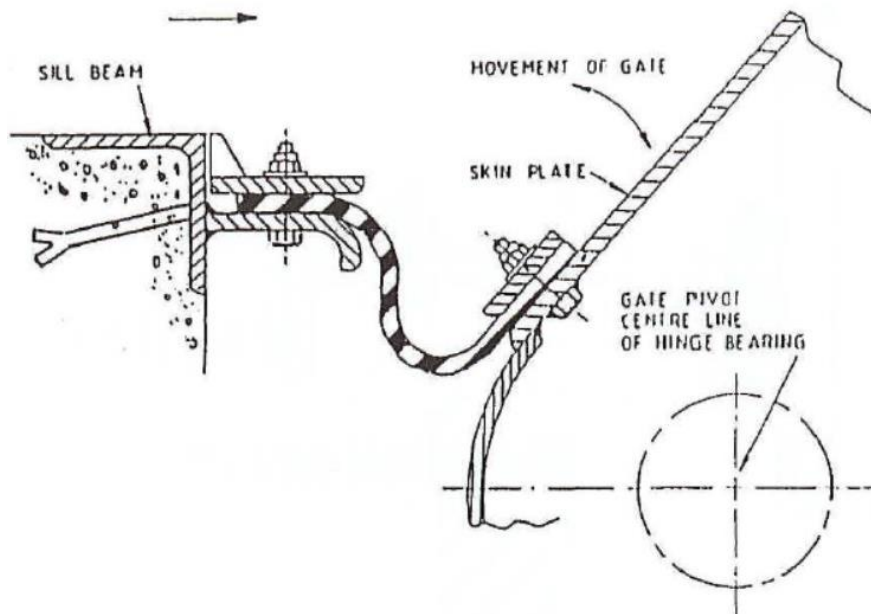


Figura 2.17. Sello bisagra para compuerta de aleta articulada inferior [7].

### 1.16. Tipos de accionamientos para compuertas tipo clapeta

En las compuertas tipo clapeta, las unidades se instalan como se muestra en la Figura 2.18. En la disposición (A), el mecanismo de elevación está sometido a tensión y puede consistir en polipastos de cable, cadena o hidráulicos. En el caso (B), el mecanismo de elevación funciona bajo compresión; Por regla general, se utilizan cilindros hidráulicos en estos casos. En el dispositivo (C), el mecanismo de elevación acciona una palanca rígidamente conectada al tubo de torsión de la puerta. La palanca y el cilindro hidráulico se encuentran en la cámara operativa construida dentro del muelle. En cualquiera de los casos anteriores,

las cargas hidráulicas de la compuerta son soportadas simultáneamente por el mecanismo de elevación y los cojinetes [7].

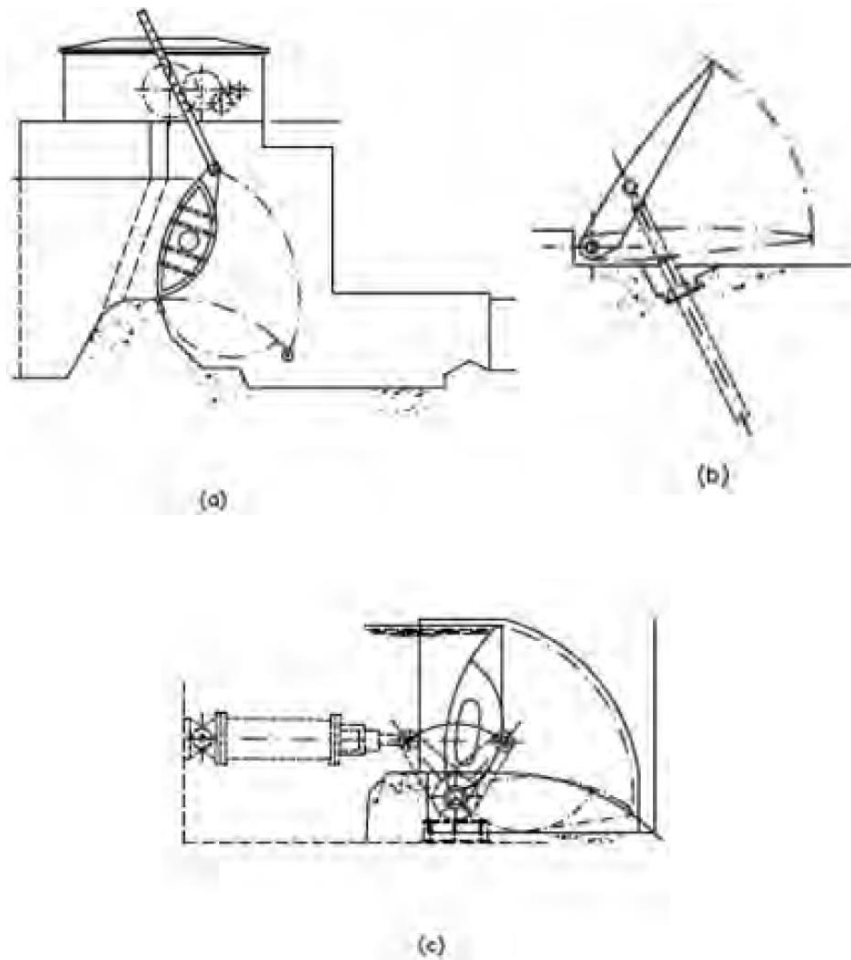


Figura 2.18. Disposiciones típicas del mecanismo de funcionamiento de la compuerta de aleta. (A) Por tensión; (B) por compresión; (C) por torsión [7].

Los sistemas de elevación o izaje mecánico e hidráulica deben estar provistos de accionamientos manuales para permitir el cierre o la apertura de la compuerta, en caso de fallo de alimentación eléctrica. En los polipastos de cable y de cadena, el suministro de energía al circuito eléctrico debe desconectarse antes de que el accionamiento manual se active para evitar accidentes al volver a la alimentación. Además, el freno debe soltarse sólo después de acoplar el accionamiento manual. El manejo manual se realiza a través de ruedas manuales o manivelas, con un radio de 30 a 40 cm, unido al eje de entrada del

reductor de velocidad. La velocidad media de funcionamiento de la manivela no debe exceder de 1 m / s. Además, la potencia desarrollada por el operador debe limitarse a:

- 100 N-m / s, en funcionamiento continuo;
- 150 N-m / s, en operaciones de hasta cinco minutos de duración.

En la figura 2.19 se muestra dos compuertas tipo clapeta con accionamiento a través de cilindros hidráulicos ubicados aguas abajo.



Figura 2.19. Pistones hidráulicos para las compuertas de la presa de Sihlhofe dam (ZWAG) [6].

La operación colocando el cilindro hidráulico debajo de la compuerta permite dispensar una estructura superior. El mantenimiento del cilindro hidráulico requiere entonces la deshidratación de la rampa, a menudo considerada como un inconveniente principal de esta configuración.

### 1.17. Operación

En la posición elevada la compuerta actúa como un vertedero sumergido que reduce el área de la sección transversal del río o canal, reduciendo el flujo en el lecho del río. Cuando la compuerta tiene que estar completamente retraída, la forma de la placa debe ser horizontal para evitar la separación del flujo y que se produzca una presión subatmosférica aguas debajo de la placa.

Se han construido compuertas tipo clapeta automáticas con contrapeso por encima o por debajo de la compuerta (ver Figura 2.20). El contrapeso está dispuesto para equilibrar el volumen de vuelco de la corriente de agua ascendente con el nivel de retención normal. Con un aumento de nivel, la compuerta se superpone y el momento de vuelco se incrementa. Cuando esto supera la resistencia del contrapeso la compuerta se abre mediante una cuidadosa proporción y colocación del sistema de contrapeso y el punto de pivote. Estas puertas pueden estar dispuestas para abrirse y cerrarse en una serie de movimientos en un nivel ascendente y descendente aguas arriba. El grado de control no es exacto y se requiere una variación significativa en el nivel para efectuar el recorrido completo de la compuerta. Si en la descarga el nivel aguas abajo empieza a subir, creando así un momento de vuelco que tiende a cerrar la compuerta, puede ser imposible impedir que el nivel del agua aguas arriba suba [6].



Figura 2.20. Compuerta de inclinación automática.

La disposición mostrada en la figura 2.21 puede ser una trampa para los desechos. Donde la confiabilidad operacional es primordial, puede ser necesario proveer medios para limpiar los desechos sin deshidratar el canal o usar un buzo. Esto se puede hacer usando chorros de agua, aire comprimido o enjuagando con agua de río. No se ha publicado información sobre la experiencia práctica en el uso de sistemas de distribución de aire comprimido para esta aplicación. Si el agua del río se utiliza para limpiar el hueco, el diseño debe evitar la creación de remolinos y bolsas muertas que causen la transferencia de escombros de una parte del receso a otro sin desalojarlo. Los desechos serán atrapados detrás del chorro de flujo y el sistema de evacuación, mostrados en Figura 2.22 son necesarios para limpiar el canal. La compuerta se eleva para detener el desbordamiento al vaciarse [7].

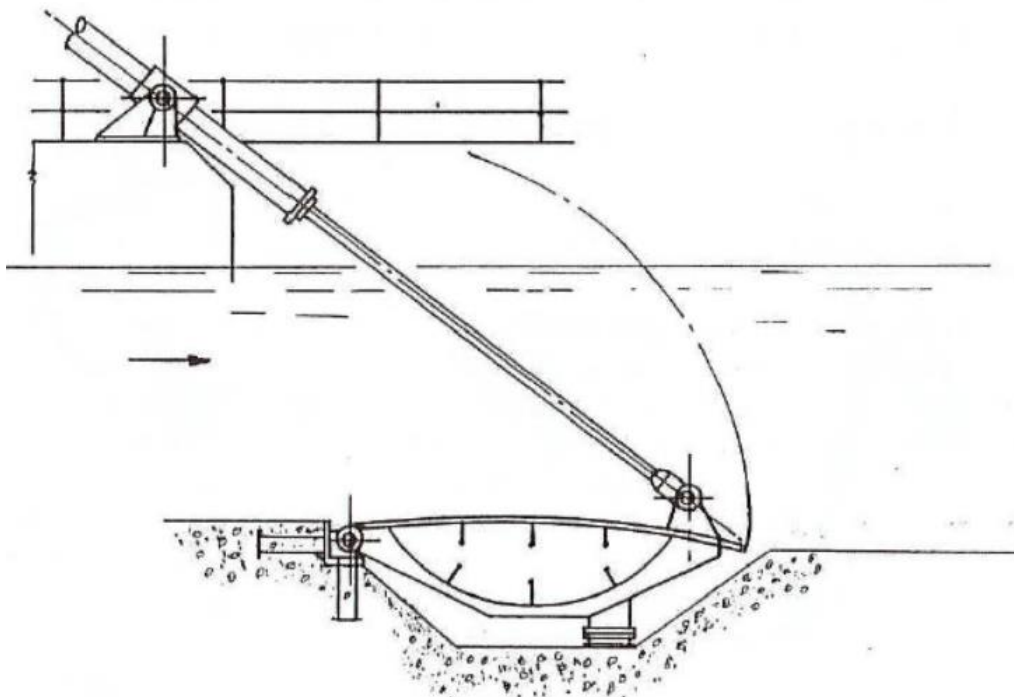


Figura 2.21. Receso en la vía de descarga para permitir la retracción completa de la compuerta de clapeta bajo condiciones de inundación [7].

La figura 2.22 ilustra la ubicación de los ductos de aireación y los divisores de flujo de agua que son necesarios para poder mantener aireada la napa vertiente cuando la compuerta cumpla función de vertedero.



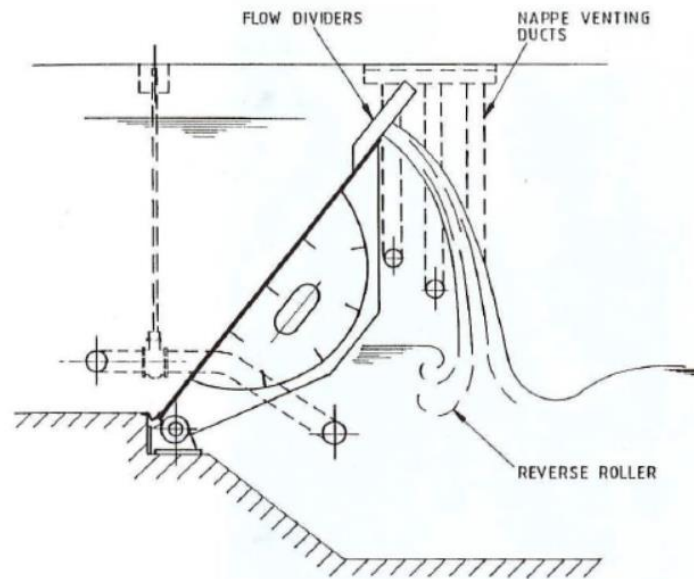


Figura 2.22. Sistema de derivación para limpiar los residuos acumulados aguas abajo de una compuerta clapeta [7].

### 1.18. Ventilación o aireación

Esta compuerta trabajara como vertedero cuando se regula la apertura y en caso de que el nivel de embalse suba entonces la napa vertiente (película de agua) tiene que ser ventilada para evitar la vibración de la compuerta y el colapso. Se usan divisores de flujo de agua para ventilar la napa bajo condiciones de desbordamiento moderado. Los tipos de diseño de las compuertas y el espaciamiento de los divisores de flujo son críticos. Los divisores deben proyectarse más allá del borde de la puerta y deben ser lo suficientemente anchos para formar una abertura adecuada en la napa para la admisión del aire. El flujo de agua sobre la parte superior de la compuerta se expande, pero tan pronto como ya no está en contacto con el divisor de flujo, tiende a cerrarse de nuevo. El estudio experimental y los prototipos han sido llevados a cabo para estudiar la oscilación y las vibraciones resultantes. Estudios modelo de la escala de Froude de las compuertas tipo clapeta. Los divisores de flujo son ineficaces en la prevención de oscilaciones de napa autoexcitadas y vibraciones resultantes. La separación de los divisores de flujo es importante. Pulpitel [8] da una cierta información sobre los divisores del flujo que se pueden aplicar en la práctica.

Inicialmente, los divisores de flujo estaban espaciados en centros de 2100mm. Se añadieron divisores de flujo adicionales entre los originales. Estos proyectados 280mm más allá de la placa de la piel y tenía una anchura de la cresta de 300mm y una anchura sobre las secciones laterales ahusadas de 450mm. La profundidad máxima de desbordamiento fue de 720mm [7].

Cuando el nivel de agua por encima del reborde de la compuerta es apreciable, los divisores de flujo se vuelven ineficaces y se debe proporcionar una ventilación adicional a través de las paredes de la compuerta o de muros laterales. En el **CAPÍTULO 5** se calcula la demanda de aire para un chorro de desbordamiento libre.

### **1.19. Demanda de aire**

El flujo bajo una compuerta cuando se abre una compuerta de elevación vertical en un conducto y la sección aguas abajo del conducto no contiene agua, surge una demanda de aire debido al arrastre de aire en el chorro emisor.

La demanda de aire total consta de dos partes diferentes: el arrastre de aire en el flujo de agua como burbujas o bolsas de aire mayores en la región de transición aire / agua, y el aire que fluye por encima de la zona de transición debido al arrastre de la mezcla que fluye.

En las aberturas iniciales de la compuerta, el chorro de emisión se acompaña de una pulverización que arrastra una elevada proporción de aire.

Para explicar las diferencias en la demanda de aire, se ha clasificado el flujo. La demanda total de aire para el flujo de superficie libre en conductos no suele ser máxima cuando las puertas están completamente abiertas. A menudo existen dos máximos; Una para aberturas muy pequeñas de la puerta, cuando el flujo de pulverización ocurre a 4 - 8 % de

la abertura de la compuerta, y una segunda generalmente más grande que la primera cuando la abertura de la compuerta está entre 40 - 70 % [7].

Si se produce un salto hidráulico, se producirá un arrastre de aire adicional. Kalinske y Robertson [9] expresó esto en términos de la relación entre el flujo de aire y el flujo de agua. El arrastre de aire sin saltos ha sido investigado por varios investigadores.

El supuesto diseño sugerido es [7]:

$$\beta = 0.03(Fr - 1)^{1.06} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

B = ratio de flujo de aire y flujo de agua

Fr = número de Froude

El mecanismo principal que sostiene un flujo en un canal abierto es la fuerza de gravitación. Por ejemplo, la diferencia de altura entre dos embalses hará que el agua fluya a través de un canal que los conecta. El parámetro que representa este efecto gravitacional es el Número de Froude, puede expresarse de forma adimensional. Este es útil en los cálculos del resalto hidráulico, en el diseño de estructuras hidráulicas.

Según Froude el flujo se clasifica como:

Fr<1, Flujo subcrítico o tranquilo, tiene una velocidad relativa baja y la profundidad es relativamente grande, prevalece la energía potencial. Corresponde a un régimen de llanura.

Fr=1, Flujo crítico, es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico.

$Fr > 1$ , Flujo supercrítico o rápido, tiene una velocidad relativamente alta y poca profundidad prevalece la energía cinética. Propios de cauces de gran pendiente o ríos de montaña.

### 1.20. Referencia normativa

Para el presente trabajo se utilizarán las siguientes normas:

- NBR 8883-2008, Cálculo y manufactura de compuertas hidráulicas
- DIN 19704 Hydraulic-Steel-Structures-1998-part1
- DIN 19704 Hydraulic-Steel-Structures-1998-part2
- DIN 19704 Hydraulic-Steel-Structures-1998-part3

### 1.21. Estática de fluidos

### 1.22. Fluido incompresible

Para un fluido incompresible, la ley de la variación de la presión hidrostática frecuentemente se escribe en la forma [10]:

$$P = \gamma \cdot h \quad \dots\dots\dots (2)$$

En la cual  $h$  se mide verticalmente hacia abajo ( $h = - y$ ) a partir de la superficie libre del líquido, y  $P$  es el correspondiente aumento de la presión sobre el valor que toma en dicha superficie.

Con frecuencia, es común expresar la presión en términos de la altura de una columna de fluido.

Considere el tanque abierto que se muestra en la Figura 2.23, el cual contiene un líquido en cuya superficie no hay presión, aunque en realidad la presión mínima en cualquier superficie líquida es su propia presión de vapor. De acuerdo con la Ecuación. (2), la presión a cualquier profundidad es  $P = \gamma h$ . Si  $\gamma$  se considera constante, hay una relación definida entre  $P$  y  $h$ . Esto es, la presión (fuerza por unidad de área) es equivalente a la altura  $h$  de un fluido de peso específico constante [10].

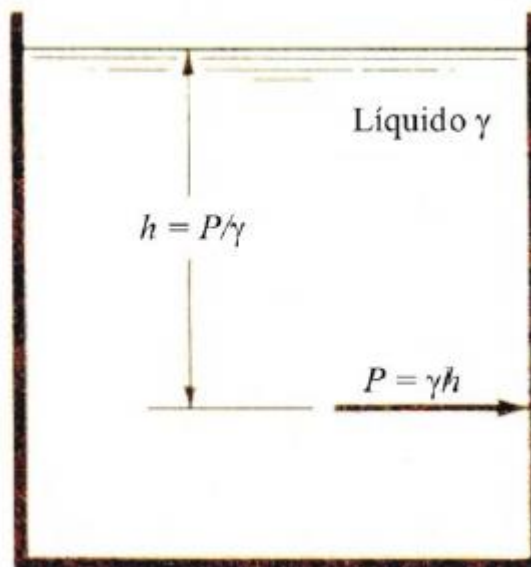


Figura 2.23. Presión expresada en términos de la altura de un fluido.

Si la superficie del líquido está bajo alguna presión, solamente es necesario convertir dicha presión en una altura equivalente del fluido en cuestión y sumar éste al valor de  $h$  para obtener la presión total.

### 1.23. Fuerzas hidrostáticas sobre superficies sumergidas

Ahora que se ha determinado la manera en que varía la presión en un fluido estático, se puede examinar la fuerza sobre una superficie sumergida en un líquido.

Con el fin de determinar por completo la fuerza que actúa sobre la superficie sumergida, se deben especificar la magnitud y la dirección de la fuerza, así como su línea de acción. Se deben considerar superficies sumergidas tanto planas como curvas [10].

### 1.24. Fuerzas hidrostáticas sobre una superficie plana sumergida

Puesto que no puede haber esfuerzos de corte en un fluido estático, todas las fuerzas hidrostáticas que actúan sobre una superficie sumergida en dicho fluido deberán ser normales a la misma.

Si la presión se distribuye uniformemente sobre un área, como se muestra en la Figura 2.24a, la fuerza es igual a la presión por el área, y el punto de aplicación de la fuerza es el **centroide** del área. En el caso de fluidos compresibles (gases), la variación de la presión con la distancia vertical es muy pequeña debido a su bajo peso específico; de aquí, cuando se calcula la fuerza estática ejercida por un gas,  $P$  se puede considerar constante. Así, para este caso [10],

$$F = \int PdA = P \int dA = PA \quad \dots\dots\dots (3)$$

En el caso de líquidos, la distribución de la presión no es uniforme; de aquí que es necesario un análisis más amplio. Considere una superficie plana vertical, como la que se muestra en la Figura 2.24b, cuyo extremo superior coincide con la superficie libre del líquido. La presión variará desde cero en  $M$ , hasta  $NK$  en  $N$ . Así, la fuerza total sobre un lado es la sumatoria de los productos de los elementos de área por la presión sobre ellos. Es claro que la resultante de este sistema de fuerzas paralelas deberá estar aplicada en un punto por abajo del centroide del área, ya que el centroide de un área es el punto de aplicación de la resultante de un sistema de fuerzas paralelas uniformes.

Si la superficie se sumerge hasta la posición  $M'N'$  mostrada en la Figura 2.24c, el cambio proporcional de presión de  $M'$  a  $N'$  es menor que el de  $M$  a  $N$ . De aquí que el centro de presión estará más cercano al centroide de la superficie. Entre más se sumerja la superficie, la presión sobre ésta llegará a ser más uniforme y el centro de presión estará cada vez más cerca del centroide [10].

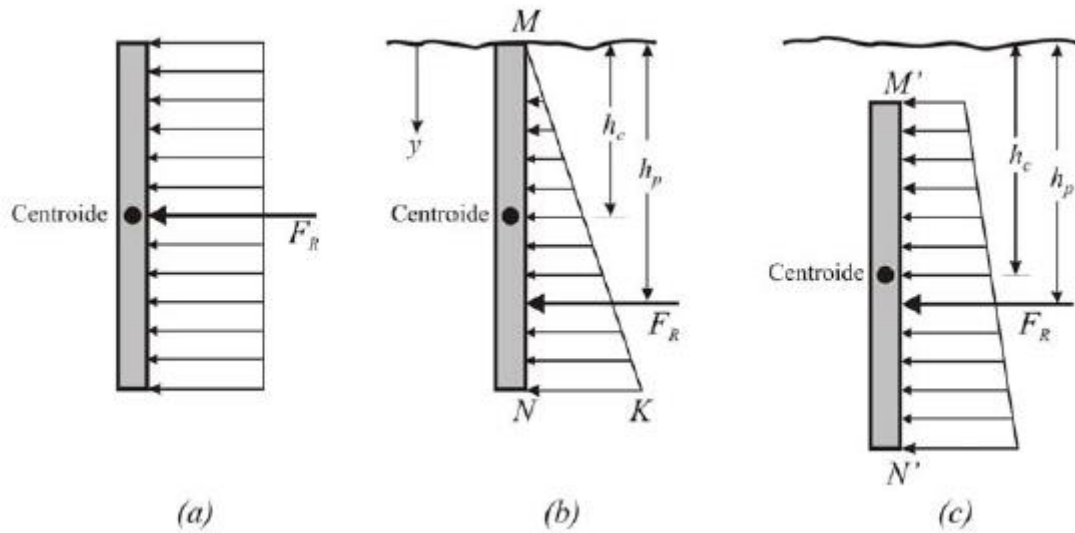


Figura 2.24. Fuerzas hidrostáticas sobre una superficie plana vertical.

La Figura 2.25 muestra una superficie plana de forma arbitraria sumergida completamente en un líquido, la cual forma un ángulo  $\theta$  con la horizontal. A la derecha se muestra la proyección de esta superficie sobre un plano vertical. Sea  $h$  la profundidad de cualquier punto y la distancia del punto a la superficie libre en el plano de la placa [6].

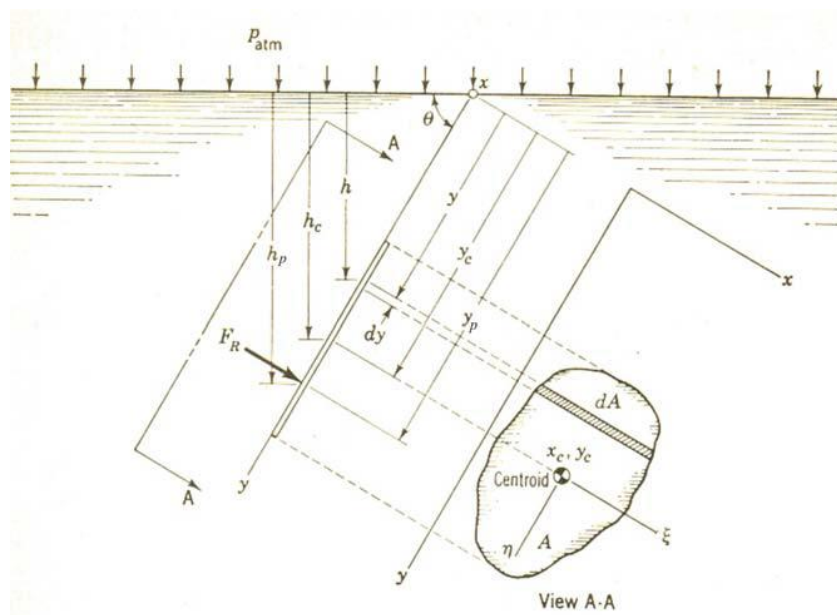


Figura 2.25. Superficie plana sumergida.

Considere un elemento de área seleccionado de manera que la presión ejercida sobre él es uniforme. Si  $x$  representa el ancho del área a cualquier profundidad, entonces  $dA = x dy$ . Como  $P = \gamma h$  y  $h = y \text{ sen } \theta$ , la fuerza  $dF$  sobre un elemento de área será,

$$dF = PdA = \gamma h dA = \gamma y \text{ sen } \theta dA \quad \dots\dots\dots (4)$$

Integrando esta ecuación, tomando en cuenta que el centroide de un área se define como  $y = (1/A) \int y dA$ , se tiene:

$$F = \gamma \text{ sen } \theta \int y dA = \gamma \text{ sen } \theta y_c A \quad \dots\dots\dots (5)$$

Si se representa mediante  $h_c$  la profundidad del centroide, entonces  $h_c = y_c \text{ sen } \theta$  y

$$F = \gamma h_c A \quad \dots\dots\dots (6)$$

Ya que  $\gamma h_c$  es la presión en el centroide, la Ecuación (6) indica que la fuerza sobre una cara de cualquier superficie plana sumergida en un fluido estático, es igual a la presión que hay en el centroide de dicha cara por su área, independientemente de la forma de la superficie y de su ángulo de inclinación [10].

### 1.25. Teoría de la Energía de Distorsión

Propuesta por R. Von Misses al observar que los materiales bajo esfuerzos hidrostáticos soportan esfuerzos mucho mayores que sus esfuerzos de fluencia bajo otros estados de carga. La teoría establece [11].

“La falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia” [11].



### 1.26. Criterio de máxima tensión de von Mises

El software de diseño SolidWorks considera que el criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima.

En términos de las tensiones principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , la tensión de von Mises se expresa de la siguiente manera [12]:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)} \dots\dots\dots (7)$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}} \dots\dots\dots (8)$$

El límite elástico es una propiedad dependiente de la temperatura. Este valor especificado del límite elástico debe considerar la temperatura del componente. El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de [12]:

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = \sigma_{\text{limit}} / \sigma_{\text{vonMises}} \dots\dots\dots (9)$$

### 1.27. Computacional Fluid Dynamics

La CFD simulación (simulación de fluidos por computador) es una de las técnicas con una proyección muy ascendente debido al soporte que la ingeniería informática le da. Podemos realizar simulaciones de fluidos tales como líquidos, gases y fenómenos relacionados, los cuales mediante CFD software especializado lo podemos animar y estudiar su evolución en el tiempo.

¿Qué es CFD?

La mecánica de fluidos computacional (CFD) usa fórmulas matemáticas para investigar la problemática del flujo de sustancias, para ello se apoya en el uso de ordenadores que realizan millones de cálculos interactuando con líquidos y gases. Aun con fórmulas matemáticas en ordenadores de gran capacidad (clustering) en algunos casos los resultados son aproximados. El continuo avance de la ingeniería informática da soporte a la ingeniería física mejorando los tiempos de cálculo y minimizando los márgenes de errores y por lo tanto abarcando situaciones antes inexploradas como flujos turbulentos o fluidos transónicos. La contrastación de resultados conseguidos por el computacional fluid dinámicos suele ser corroborada en plataformas físicas como por ejemplo los túneles de viento. El método consiste en discretizar una región del espacio creando lo que se conoce por una malla espacial, dividiendo una región del espacio en pequeños volúmenes de control. Después se resuelve en cada uno de ellos las ecuaciones de conservación discretizadas, de forma que, en realidad, se resuelve una matriz algebraica en cada celda de forma iterativa hasta que el residuo es suficientemente pequeño.

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

## **1.28. Antecedentes de la investigación**

### **1.29. Desafíos de múltiples facetas en la presa de Mátala, Por Anthony Martiniello**

La presa de Matala, provincia de Huila, Angola, fue construido en 1954 en el río Cunene para servir a dos objetivos: generar energía de una central hidroeléctrica de 40 MW para su uso en el sur de Angola y para almacenar agua para el riego de tierras de cultivo adyacentes. La ubicación remota del proyecto conto con tres obstáculos principales: la selección de las normas de diseño, la adherencia a los requisitos de diseño e interfaces de proveedor.

El propietario de la presa, Empresa Pública de Producao de Electricidade (PRODEL), contrato a SNCLavalin Inc. (SNCL) para ejecutar los servicios de ingeniería, procura y construcción (EPC) para la rehabilitación de la presa de Matala [13].

Entre las preocupaciones de SNCL fue la determinación de las normas de diseño civil, eléctrica y mecánica aplicables para las diferentes facetas del proyecto. En el caso del proyecto de Matala, PRODEL permitió la implementación de las normas internacionales sobre la base de los requisitos del diseño específico [13].

En consecuencia, SNCL propuso desde el inicio del proyecto proceder con el uso predominantemente de las normas norteamericanas, por lo que el diseño comenzó y se desarrolló sobre la base de estas normas [13].

A medida que fue avanzaba la fase de diseño, las limitaciones surgieron debido a la utilización de los estándares norteamericanos, lo que obligó al equipo de diseño buscar normas internacionales equivalentes. Las restricciones en cuestión se refieren a la similitud de los requisitos de diseño e interfaces de proveedor.

A pesar de las adversidades que enfrenta el equipo de Ingeniería SNCL, las obras se completaron con éxito y aceptados por PRODEL, trabajando en conjunto con todos sus proveedores, logró alcanzar un entendimiento con ellos en lo que respecta a la calidad de las obras necesarias para asegurar la terminación exitosa. Teniendo en cuenta la experiencia adquirida en la ejecución de este proyecto EPC, algunas de las principales lecciones aprendidas por SNCL incluyen: conceptos de diseño iniciales deberían haber tenido en cuenta las normas europeas como predominante, en lugar de las normas norteamericanas desde el principio, teniendo en cuenta las capacidades de localización del proyecto y los proveedores [13].

Permitiendo a los proveedores proponer normas equivalentes a los especificados, con los que están más familiarizados y pueden ejecutar en consecuencia, pueden producir avances de programación si se gestiona adecuadamente [13].

Las normas no son idénticos. Sin embargo, existen similitudes entre algunos estándares internacionales para los que se puedan considerar equivalencias en función del tipo de equipo que está siendo fabricado [13].

La configuración de las reuniones cara a cara con un proveedor es esencial para garantizar que no haya malentendidos relacionados con el diseño y los requisitos de fabricación [13].

En la figura 3.1 muestra las reacciones álcali agregado en el hormigón causadas considerable hinchazón que se produzca, atascos compuertas tipo clapeta existentes.



Figura 3.1. Compuerta tipo clapeta existente.

**1.30. Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales, elaborado por Jhon Córdoba-Carmen.**

El hombre ha construido embalses desde la antigüedad, pero no ha sido hasta muy recientemente que este tipo de construcciones ha tenido un auge considerable. La creciente demanda de agua y energía, ha impulsado considerablemente la construcción de este tipo de obras hidráulicas. En el mundo actual, las represas destinadas a producir energía hidroeléctrica son las que resaltan más por ser las de mayor tamaño. Estas represas de gran alcance, han permitido almacenar una cantidad de agua cada vez mayor, pero al mismo tiempo, pueden causar cambios ambientales irreversibles en áreas geográficas muy extensas [14].

Durante la última década, las críticas sobre este tipo de proyectos han aumentado y esto no es ajeno en nuestro país. Los críticos más severos sostienen que los costos sociales, ambientales y económicos de estas represas pesan más que sus beneficios y que, por lo tanto, no se justifica la construcción de las grandes represas.

**1.31. Metodología para el control de riesgos en compuertas radiales de descarga de fondo para grandes presas, elaborado por José D. Vera Rodríguez.**

El enfoque de este estudio estuvo dirigido a determinar la incidencia más crítica sobre la seguridad de la presa, en relación con los modos de falla de la compuerta radial durante su operación con apertura parcial y flujo controlado. Considerando una inundación repentina se deseaba determinar cómo los modos de falla de la compuerta radial podrían afectar la seguridad global de la presa, el medio ambiente o las habitantes aguas abajo de ella. Esta investigación se basó principalmente en la revisión literaria sobre la evaluación de riesgos en una presa y métodos reconocidos para determinar los modos de falla de la compuerta, pero además se basó en el juicio de un grupo de expertos con gran experiencia en el diseño y construcción de grandes proyectos hidroeléctricos en Colombia y en el mundo. Pese a que las compuertas hidráulicas se han considerado como equipos seguros y confiables en las grandes represas del mundo, algunos accidentes se han producido en Colombia con el flujo incontrolado vertido a través de las descargas de fondo en algunos embalses, causando daños y consecuencias significativos sobre el medio ambiente [15].

**1.32. Análisis, Simulación y Evaluación de los Esfuerzos y Deformaciones, entre el Método Analítico y el Método de Elementos Finitos, de una Compuerta Tipo Vagón para Desagüe de Fondo, elaborado por David E. Mera Orlando.**

En este trabajo se realizó la comparación de los resultados de los esfuerzos y deformaciones ocasionados por las fuerzas hidrostáticas sobre una compuerta tipo vagón para desagüe de fondo, entre el método analítico y el método de elementos finitos, con la finalidad de determinar la precisión que existe entre ambos estudios.

La metodología que se empleó para desarrollar el método analítico, consiste en la investigación bibliográfica de los estándares y normas técnicas desarrolladas por la norma

NBR 8883, Cálculo y manufactura de compuertas hidráulicas y la DIN – 19704, Hydraulic Steel Structures: Criteria For Design And Calculation, referencias técnicas especializadas en el tema hidráulico [16].

### **1.33. Modalidad de la investigación.**

Se empleará un método de investigación explicativo y cuantitativo que busca establecer una metodología de diseño para compuertas tipo clapeta.

### **1.34. Tipo de investigación.**

Documental y Aplicada, los resultados obtenidos no pueden generalizarse ya que solo sirven para este caso de estudio.

### **1.35. Formulación de Hipótesis**

#### **1.36. Hipótesis general**

El diseño de la compuerta es el adecuado y permite regular el nivel de embalse de la central hidroeléctrica HER 1.

#### **1.37. Hipótesis específicas**

- Los materiales seleccionados cumplen con las especificaciones técnicas para la correcta operación de la compuerta de la central hidroeléctrica HER 1.
- Si se evalúa que los esfuerzos y la deformación mayores obtenidos en la simulación por elementos finitos son menores o iguales a los que la norma establece el diseño de la compuerta sería un diseño aceptable.



- Si se define las dimensiones del ducto de aireación se evitará que la compuerta este sometida a vibraciones debido a la presión sub atmosférica producida por napa vertiente que fluye sobre la compuerta.
- Elaborando los planos de fabricación y montaje cumpliendo las normas de dibujo técnico se podría fabricar e instalar la compuerta hidráulica tipo clapeta correctamente.

### **1.38. Plan de recolección de datos**

Para estructurar el Estado del Arte del tema propuesto, se aplicó un procedimiento de búsqueda sistemática de información (Kitchenham, 2010) combinando las siguientes palabras claves mediante los buscadores Google, Scribd y slideshare, etc.

Palabras claves:

- Tesis compuerta clapeta, basculantes, pivotante
- Diseño de compuertas aletas
- Normas de diseño compuerta hidráulica
- Design Flap Gate
- DIN, NBR
- Compuertas hidráulicas

En la tabla 3.1 muestra un resumen de los resultados de la búsqueda de literatura mediante el método Kitchenham (2010), clasificada según el tipo de documento.

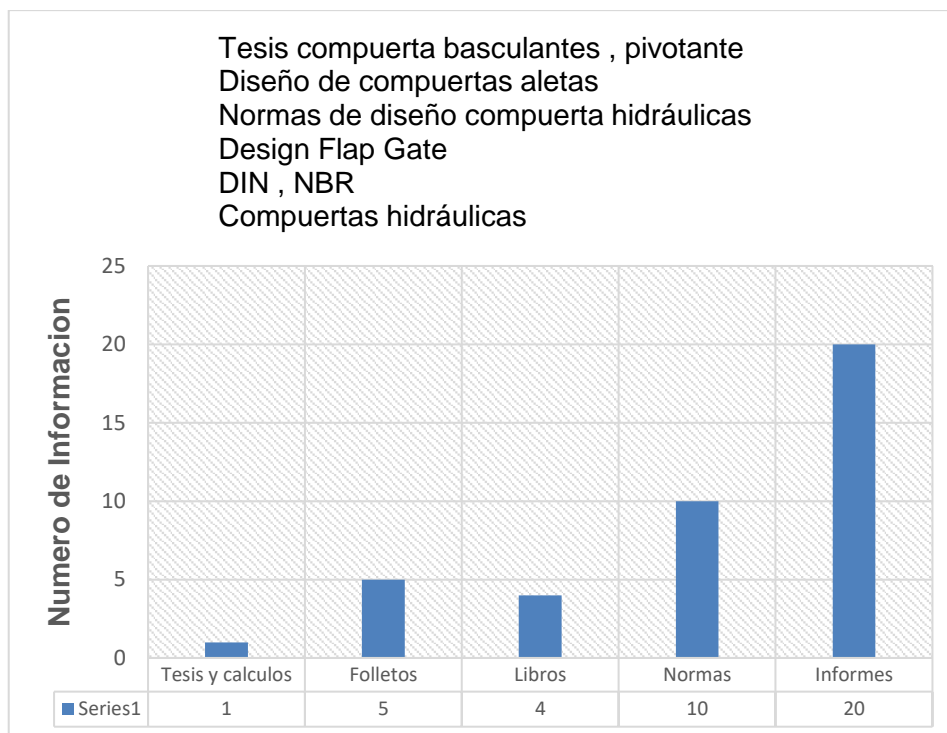


Tabla 3.1. Clasificación de documentos

### 1.39. Plan del procesamiento y análisis de la información

Se puede afirmar que existen suficientes artículos de interés con acceso relativamente fácil a través de internet, siendo las publicaciones de tesis y memorias de cálculo las de mayor disponibilidad, luego los informes de conferencias, seminarios o congresos, y finalmente algunas publicaciones disponibles en sitios web de agencias federales o instituciones interesadas en que los investigadores y profesionales relacionados con estos temas tengan acceso a su información.

Se presenta la agrupación y clasificación depurada de la información.

En tabla 3.2 se muestra una clasificación según el grado de relación con el tema de investigación, se muestra que tenemos un 38% de documentos altamente relación con el de interés y el porcentaje restante tienes una relación cercana e indirecta con el tema.

RESUMEN DE TERCERA REVISION		A	B	C		
1	Tesis compuerta basculantes, pivotante	0	0	1	1	3%
2	Diseño de compuertas basculantes	2	1	2	5	13%
3	Normas de diseño compuerta hidráulicas	3	2	1	6	15%
4	Design Flap Gate	4	1	5	10	25%
5	DIN y NBR	4	2	2	8	20%
6	Compuertas hidráulicas	2	6	2	10	25%
		15	12	13	40	
		38%	30%	33%		

CRITERIO DE TERCERA REVISION	
A = ALTAMENTE RELACIONADO CON EL TEMA DE INTERÉS	
B = RELACIÓN CERCANA CON EL TEMA DE INTERÉS.	
C = RELACIÓN INDIRECTA CON EL TEMA DE INTERÉS.	

Tabla 3.2. Cuadro resumen de tercera revisión.

A partir de estos resultados, se realizó el estudio de la información contenida en la documentación clasificada, teniendo en cuenta inicialmente el título, el resumen, las conclusiones y su relación y relevancia con el tema de investigación, obteniéndose el conjunto de referencias que soportan la presente investigación sobre compuertas.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

#### 1.40. Consideraciones para inicio del diseño

Antes de proceder con el diseño y cálculo primero se debe conocer los siguientes puntos:

- Alcance del Proyecto. - incluye los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo (y únicamente todo) el trabajo requerido para completarlo con éxito.
- Especificaciones Técnicas. - son los documentos en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todas las etapas del proyecto.
- Propuesta Económica. - indica las condiciones de suministro (costo) y los plazos de entrega (cronograma).

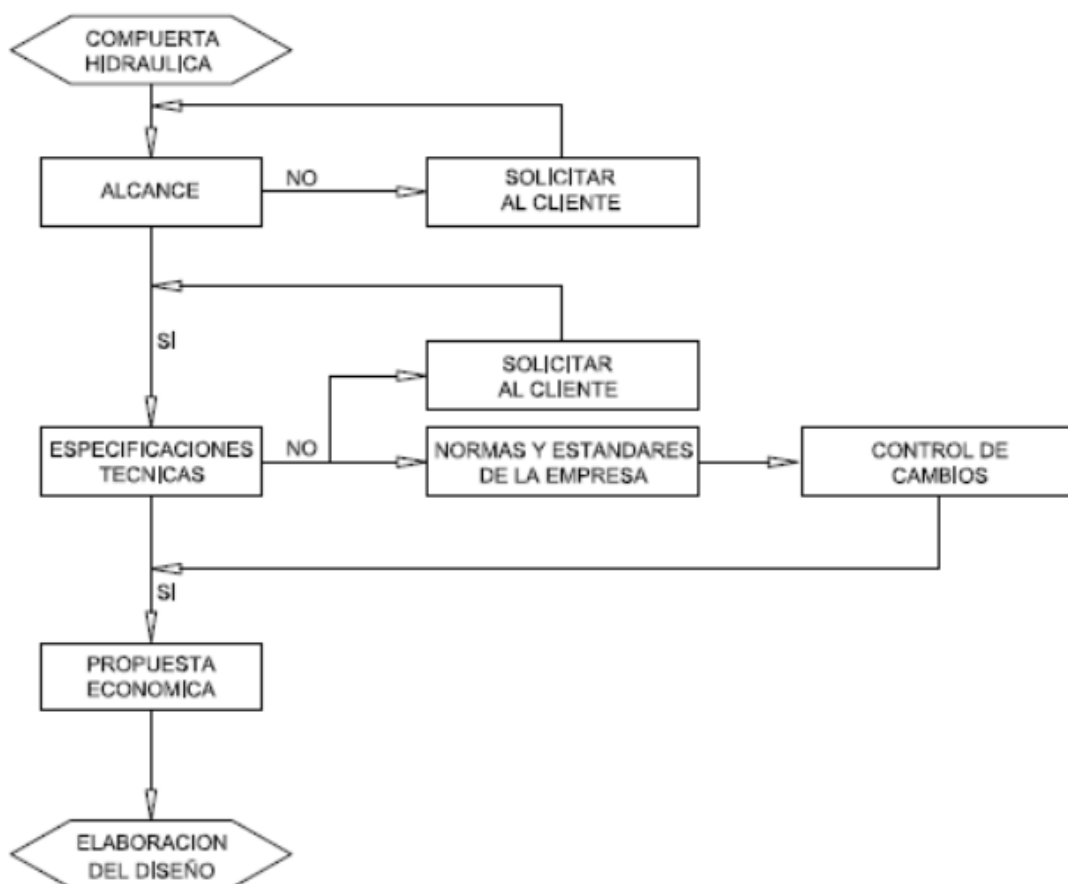


Figura 4.1. Diagrama de flujo para inicio de la elaboración del diseño.

#### 1.41. Partes de la compuerta tipo clapeta

La figura 4.2 se muestra un modelo 3D de los componentes más importante de la compuerta, los embebidos de 1ra fase y la tubería de aireación son instalados y fijados durante la etapa de hormigonado.

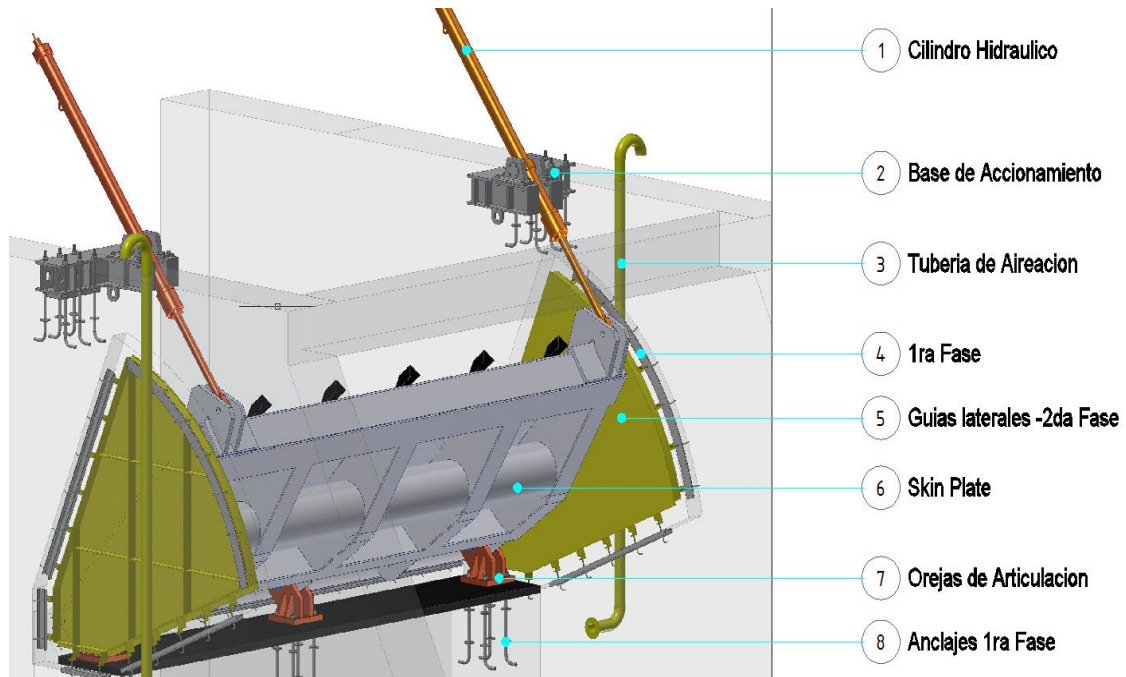


Figura 4.2. Modelo 3D de la compuerta tipo clapeta.

#### 1.42. Alcance y especificaciones de la compuerta

Los datos de la compuerta son los siguientes:

##### Alcance del Proyecto:

- Compuerta de 6.0m (Vano) x 2.5m (Altura)
- Piezas fijas - Embebidos de 1ra y 2da Fase
- Accionamiento automático
- No se incluye diseño de obras civiles
- Especificaciones Técnicas
- Pintura Anticorrosiva

- Material de Compuerta: ASTM A36 o similar
- Material de sellos: caucho, poliuretano o NBR
- Normas DIN, NBR, etc.
- Elevación solera: 636.27msnm
- Nivel de Agua Normal: 638.62msnm
- Nivel de Agua Máxima: 638.62msnm

Como se indicó en **Capítulo 2** la compuerta estará ubicada en la parte superior de las 2 turbinas. Con los datos indicados se desarrolla el arreglo general con el software AutoCAD. La figura 4.3 ilustra la posición cerrada y abierta de la compuerta y el ángulo de operación, se muestra que la apertura es de 1.5 m y tiene un borde libre de 0.11m en caso subo levemente el nivel de embalse.

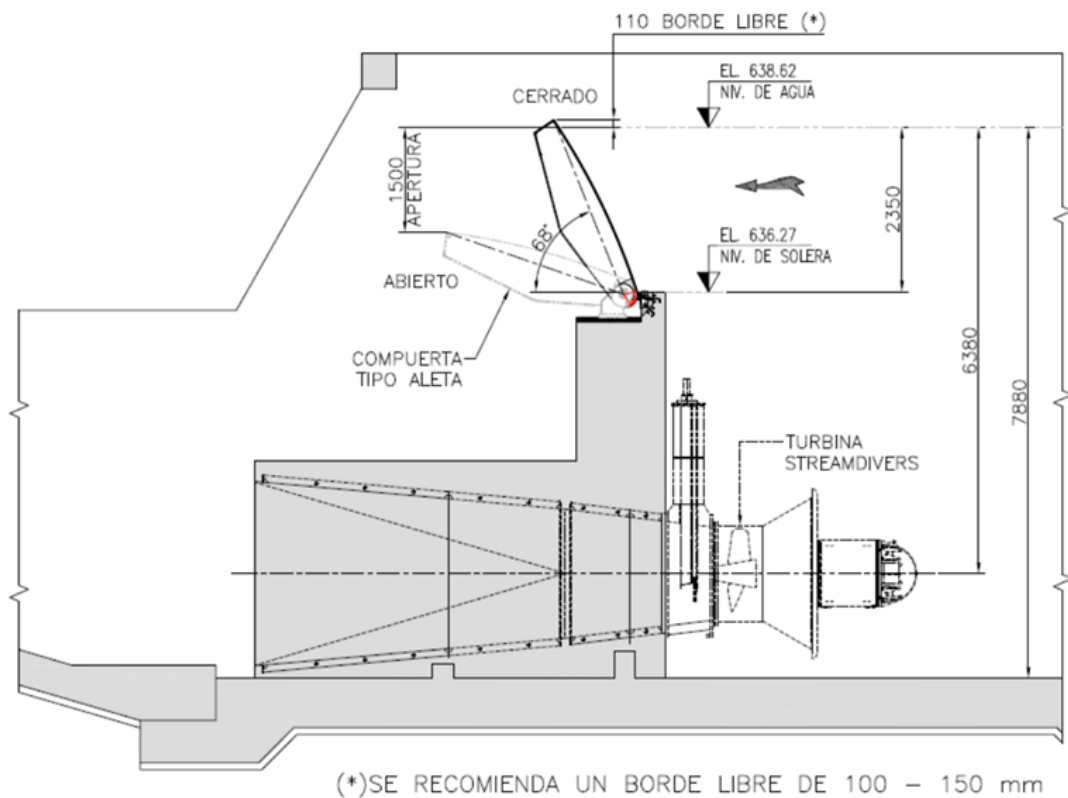


Figura 4.3. Arreglo general de la compuerta tipo clapeta – Central hidroeléctrica de HER

El Angulo de la compuerta en posición cerrada es de  $68^\circ$  con la horizontal se trazó según recomendaciones de, Paulo C.F. Erbisti [6] en su posición totalmente elevada. En la posición completamente abierta, el skinplate forma una superficie continua con el fondo del vertedero, sin presentar obstáculo al flujo de agua.

El agua fluye sobre la compuerta tipo clapeta cuando está abierta. Los sellos se ubican en el borde inferior y los lados de la hoja de la compuerta. El sello inferior puede ser hecho con un extremo colindante con la superficie cilíndrica de la parte inferior de la placa de la piel véase la figura 4.4. Una placa de cubierta generalmente protege el sello inferior.

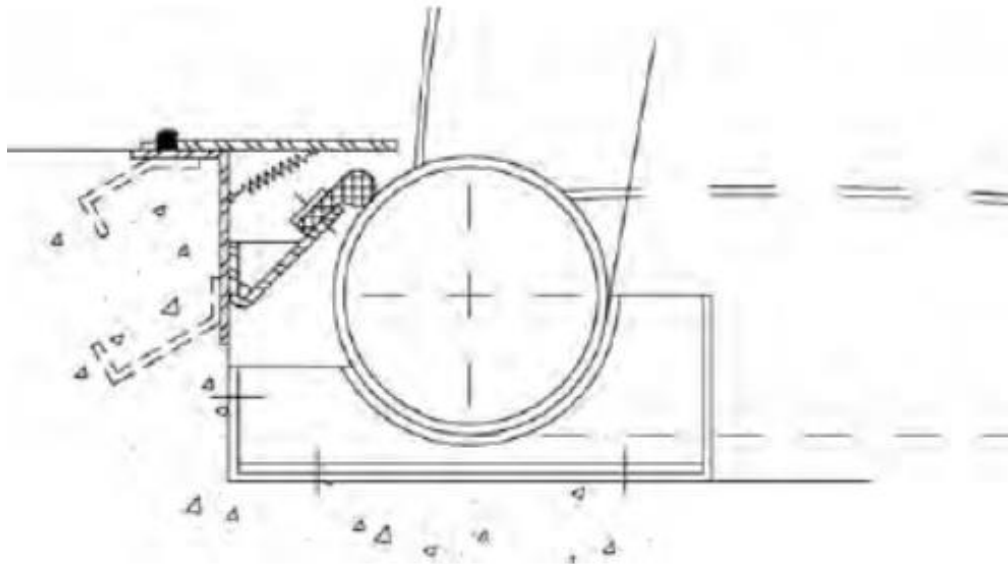


Figura 4.4. Protección del sello inferior [6].

#### 1.43. Consideraciones para el diseño de la forma del skin plate

En esta parte se define las características que tendrá el Skin plate:

1. Previo a definir la forma de la compuerta se deberá observar el sitio donde será instalado para evitar inconvenientes de su funcionamiento.



2. El skin plate (pantalla) será de acero ASTM A36 o superior con un espesor de 12mm, en la etapa de cálculo se diseñará el skin plate con un 1mm menos por factores de corrosión y se reforzará mediante vigas verticales que forman una estructura rígida.
3. La estructura será en forma de un "vientre de pez" ya que esta forma hace rígida torsionalmente la estructura.
4. La compuerta será izada de 2 puntos ubicados a los extremos de la hoja, solo se recomienda que puede usarse un punto de izaje cuando se verifica que la deformación en el extremo libre no sea mayor a 2 mm de lo contrario afecta la compresión de los sellos laterales véase la figura 4.5.

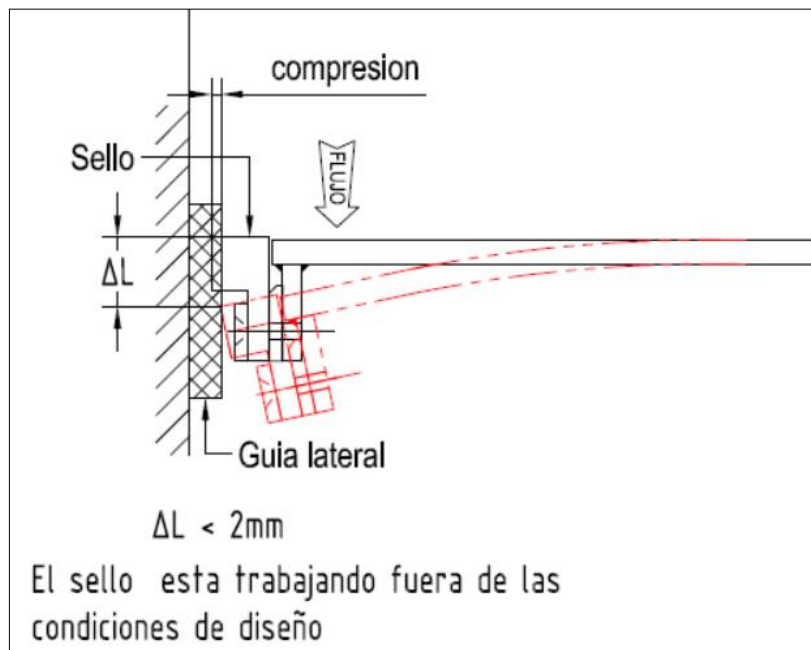


Figura 4.5. Deformación del skin plate en el extremo libre

5. La compuerta estará apoyada en 03 puntos y cada ojal tendrá una bocina de bronce autolubricante, 02 ubicados a los extremos a una distancia mayor o igual a 0.5 m

del muro con el fin de facilitar el montaje de los muñones de giro y 01 en la parte central.

Durante el proceso de fabricación se debe tener en consideración lo siguiente:

- a) Maquinado controlado y concéntrico de los 03 ojales de giro con un acabado superficial medio y tolerancia fina.
- b) Soldadura en las de zona de ojales lento para evitar deformaciones por calentamiento, el pase de soldadura intercalado para compensar deformaciones.
- c) Si se requiere compensar el posible desalineamiento del agujero central, se procede a ejecutar una verificación de concentricidad en cada ojal, de modo que se tenga la excentricidad en la posición correcta y los tres ojales se encuentren alineados.

Por esta razón la bocina central será fabricada al final y luego de haber verificado la excentricidad general. Para evitar deslizamientos o rotación en la bocina, se ha incluido un pin de seguridad y una brida de sujeción tal como muestra la figura 4.6 por lo tanto la pieza queda segura en su única posición.

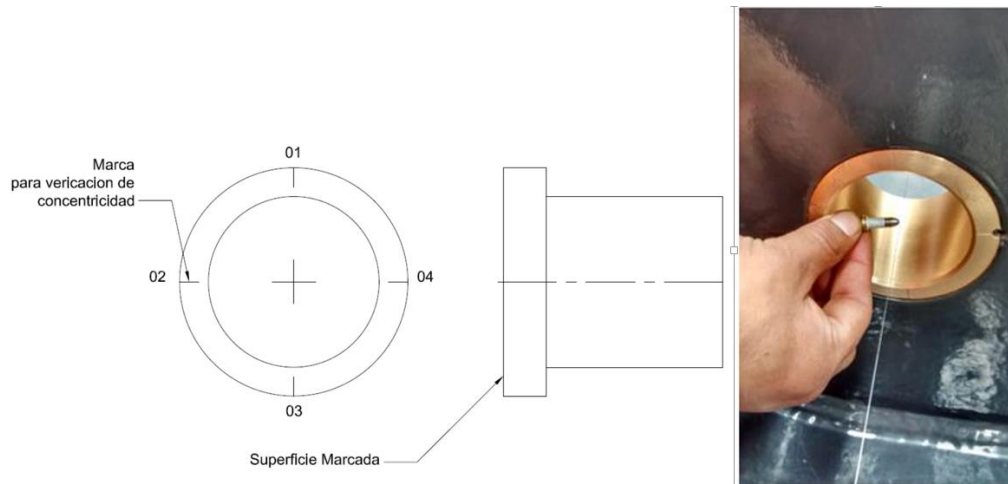


Figura 4.6. Bocinas de Bronce se realizó 4 marcas a cada 90° para verificación de concentricidad, luego se instaló en cada ojal de la compuerta.

En la figura 4.7 ilustra las dimensiones de las bocinas de bronce, las cuales irán montadas en los ojales de la compuerta tal como se muestra en la vista "Z". Solo la bocina excéntrica tendrá fijaciones emperradas y un pin guía para evitar su desalineamiento durante el montaje.

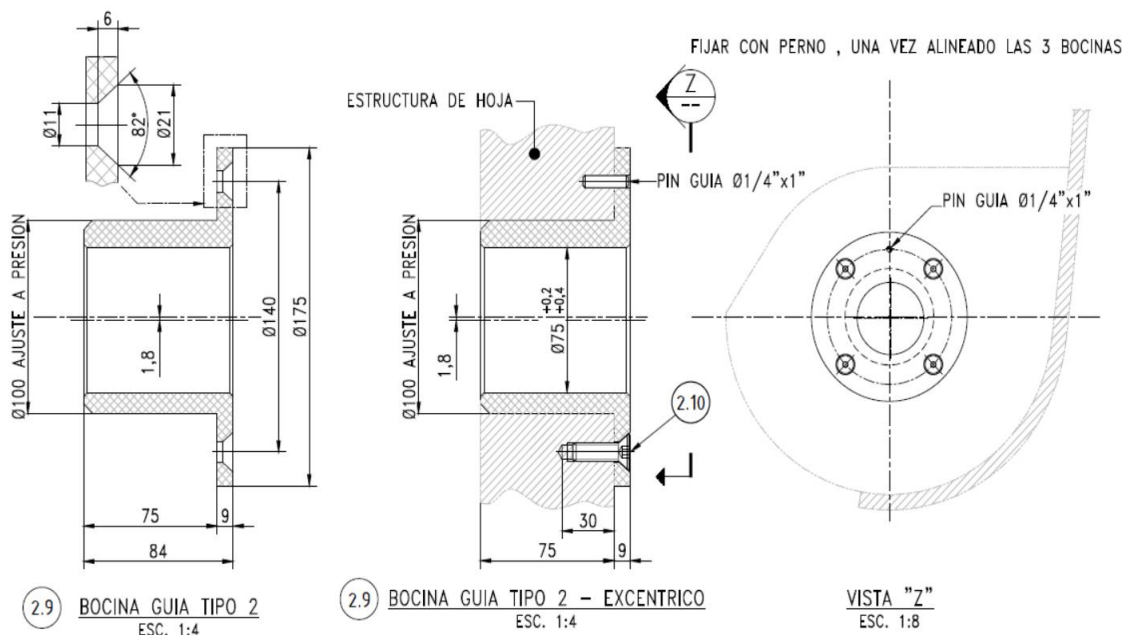


Figura 4.7. Bocina Guía lateral y central.

En la figura 4.8 ilustra las dimensiones del skin plate y la distribución de las vigas verticales, el tubo que va a todo lo largo es de Ø20" clase XS.

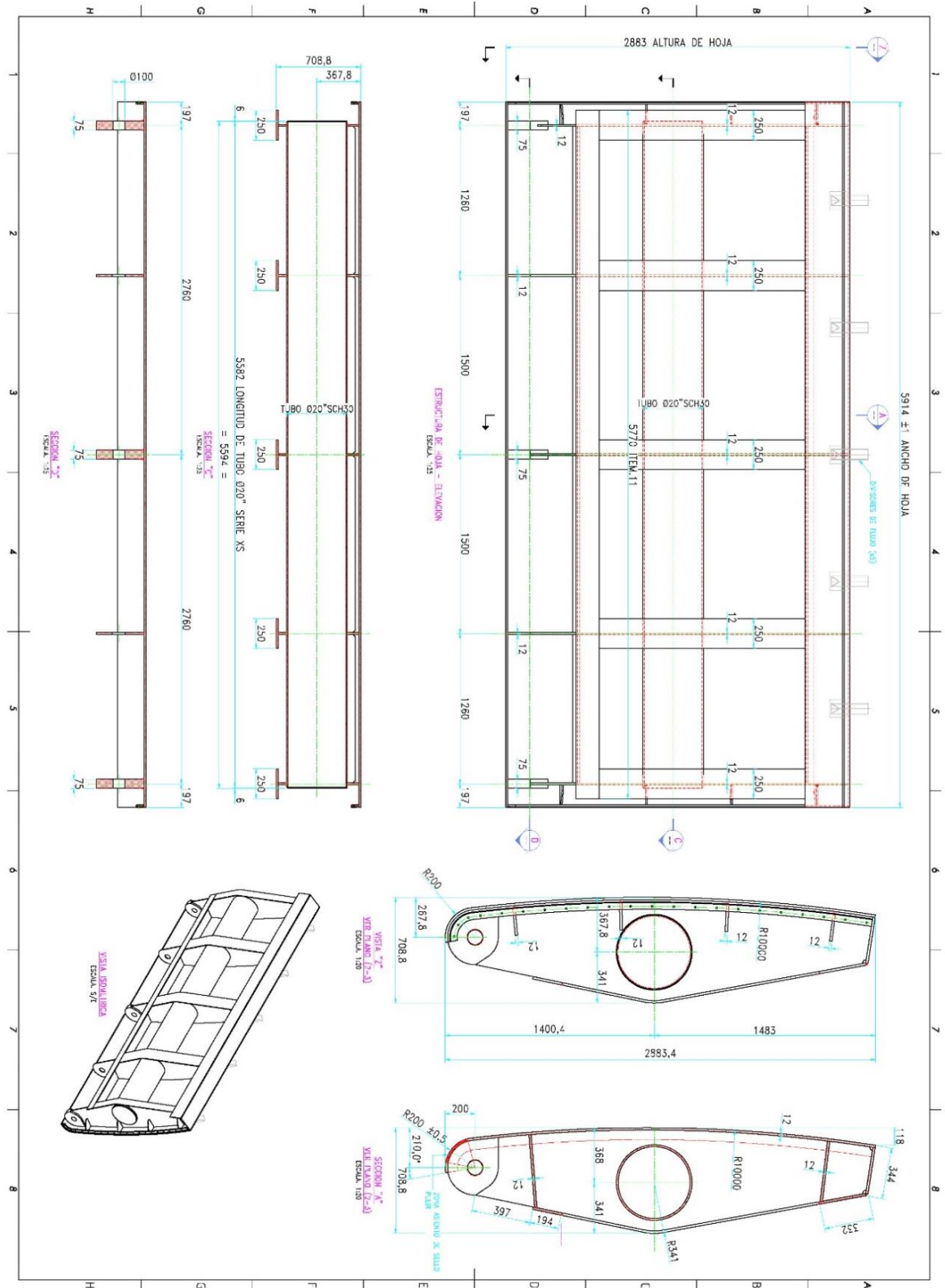


Figura 4.8. Dimensiones de skin plate.

#### 1.44. Consideraciones de los elementos de estanqueidad

- A. Los elementos de estanqueidad, son los encargados de generar un sello lo más estanco posible entre la compuerta y la cámara de carga. Se emplean para evitar las pequeñas fugas que puedan acontecer véase la figura 4.9. Su diseño puede ser de múltiples geometrías en función de las necesidades, pero como condición principal debe estar situado por todo el perímetro de contacto entre la compuerta la guía lateral y solera. El material suele ser un elastómero como Goma de nitrilo butadieno (NBR), gracias a su gran resistencia a los agentes atmosféricos y a la presión.

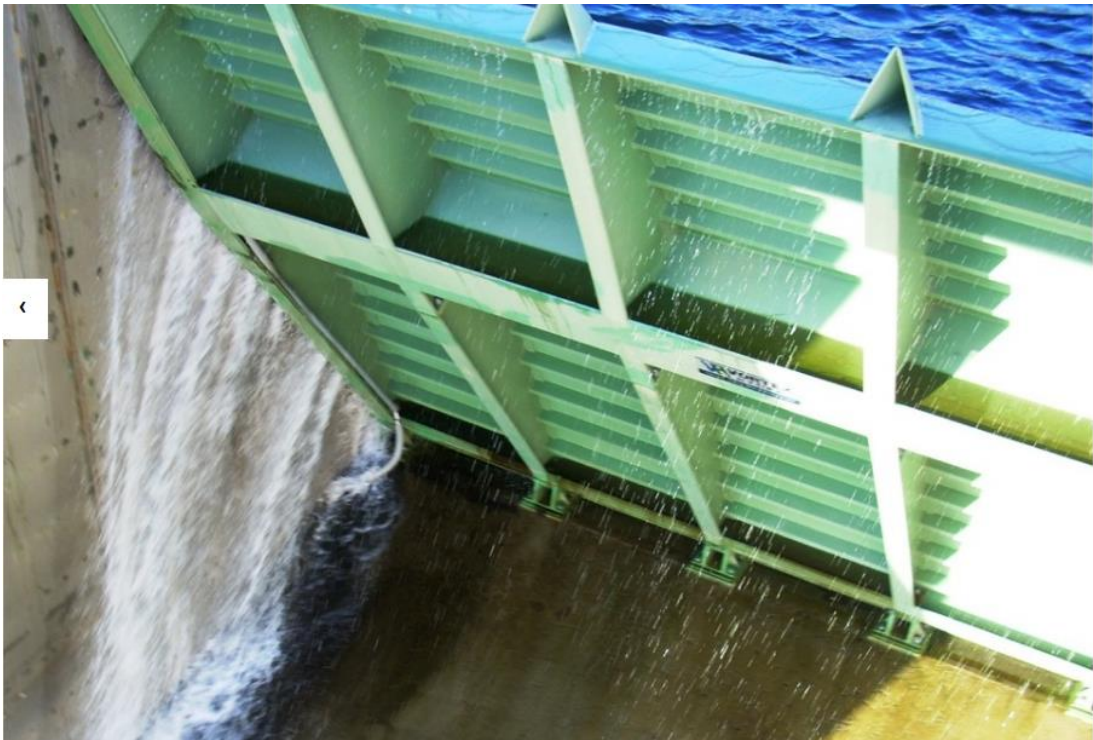


Figura 4.9. Compuerta tipo clapeta fuga en los sellos laterales.

- B. Como regla general la estanqueidad en los sellos de una compuerta se debe considerar una fuga máxima de 6.0 l/min por metro de longitud de sellado. Por ejemplo, para una compuerta de 6.0m x 3.0m la fuga máxima aceptable sería:

$$\text{Longitud total de las juntas: } 2(3.0) + 6.0 = 12\text{m}$$

$$\text{Fuga permitida: } 6.0 \times 12 = 72 \text{ l/min}$$

- C. El sello lateral puede ser de múltiples geometrías, pero en este caso se selecciona un sello de tipo single-stem J-seal, véase la figura 4.10.

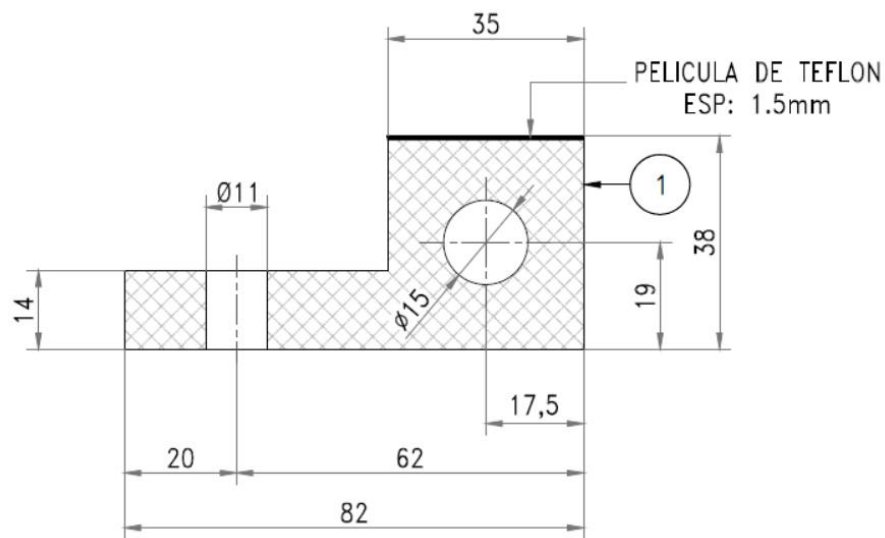


Figura 4.10. Perfil de sello tipo single-stem J-seal

Se recomienda que el sello tenga una película de teflón (PTFE) con la finalidad de reducir la fuerza de fricción entre la guía lateral y el sello.

- D. El sello tendrá las siguientes propiedades:

PROPIEDADES GENERALES	NBR
Dureza Shore A (ASTM D 2240),	60/70
Tensión de Ruptura (ASTM D 412), MPa (min.).	14,0
Elongación de Ruptura (ASTM D 412), % (min.).	300
IMERSIÓN EN AGUA	
Variación de Peso, (ASTM - D 471, 48H/70°C), % (máx.).	+/-5

Tabla 4.1. Propiedades generales del sello lateral e inferior

E. Estanquidad en la Solera:

En la solera se usará un sello tipo silbato véase la figura 4.11, que estará 5 mm comprimido con la parte inferior de la compuerta, Si la compuerta va a trabajar siempre cerrada el sello debe llevar un asiento inoxidable véase la figura 4.12 a fin de evitar corrosión en esa zona de estanqueidad. Si la compuerta es de regulación frecuente toda la zona de recorrido del sello de ser de material inoxidable, la superficie de contacto debe estar pulida.

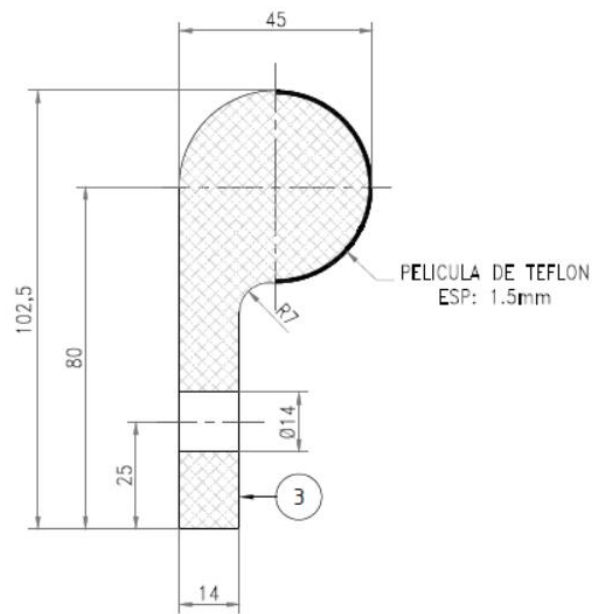


Figura 4.11. Sello silbato.



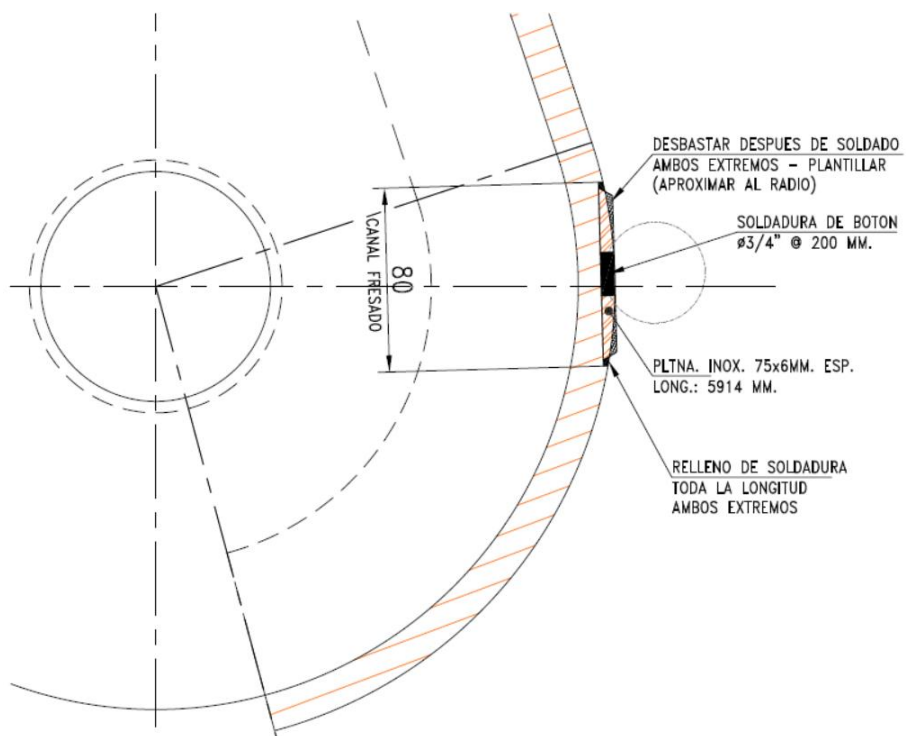


Figura 4.12. Maquinado de platina Inoxidable para asiento de sello.

En la figura 4.13 se ilustra cómo se realiza el maquinado de la platina inoxidable, se ha preparado una machina que permite alinear y nivelar la superficie, la máquina herramienta empleada es una mandriladora eje vertical.





Figura 4.13. Maquinado de platina Inoxidable para asiento de sello instalaciones GCZ ingenieros SAC.

F. Para el porta sello de la solera se tiene dos alternativas de solera.

**Alternativa “A”, solera sello horizontal**

- Facilidad durante el montaje y desmontaje
- Facilidad de inspección y mantenimiento
- El sello queda expuesto a posibles golpes de piedras

En la figura 4.14 ilustra el sello silbato en posición horizontal prensado con una platina a todo lo largo y fijado con pernos avellanados inoxidables.

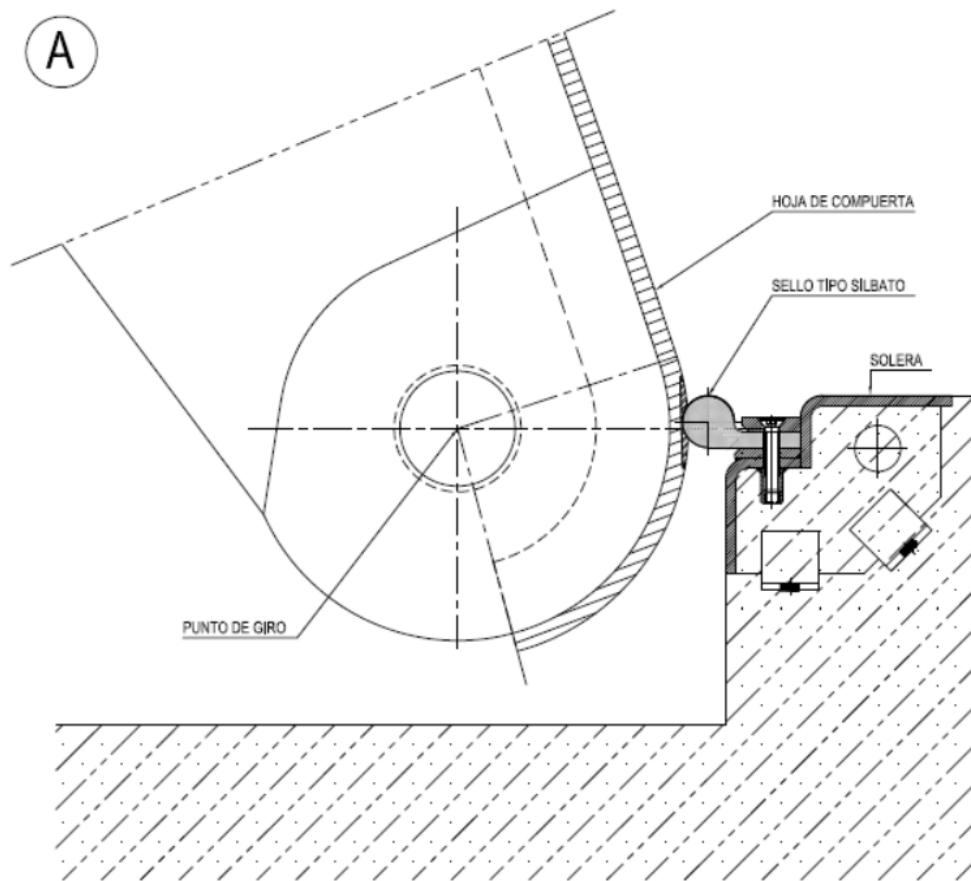


Figura 4.14. Maquinado en la hoja de compuerta

**Alternativa “B”, solera sello vertical**

- Dificultad durante el montaje y desmontaje (no hay accesibilidad para el ajuste de los pernos)
- Dificultad durante la inspección y mantenimiento
- El sello está protegido a posibles golpes de piedras.

En la figura 4.15 ilustra el sello silbato en posición vertical prensado con una platina a todo lo largo y fijado con pernos avellanados inoxidables.

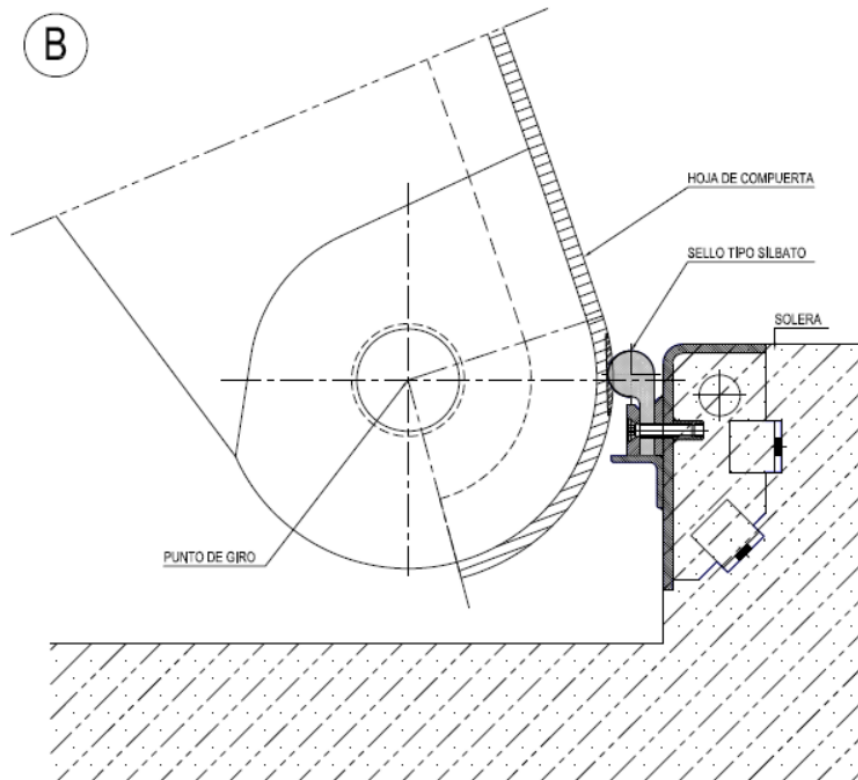


Figura 4.15. Sello en solera.

En conclusión, la mejor opción para este proyecto es el tipo A, ya que como el agua proviene de una central existente hay una mínima probabilidad de que el sello pueda sufrir daño debido a piedras, ramas, etc.

Mientras que la solera tipo B se recomienda para condiciones permanentes y donde el sello pueda estar expuesta a impactos de piedras, como el caso de los ríos.

- G. Los sellos actúan en conjunto para hacer el cierre y por eso deben de tener las mismas propiedades. El uso de cualquier otro elemento de goma, hace perder la característica del conjunto.

#### 1.45. Sistema de izaje

El izaje o accionamiento será mediante dos (2) cilindros hidráulicos.

## Ventajas

- Permite regular la velocidad, ya que es posible regular el caudal de aceite de manera que también se regule la velocidad.
- Transmisión de grandes potencias.
- Control de la posición, gracias a la incompresibilidad del fluido utilizado.
- Reversibilidad en las tuberías, con capacidad de circular el líquido en ambos sentidos.
- Protección del sistema, gracias a la posibilidad de utilizar válvulas de seguridad.
- Posibilidad de arranque y detención en carga.

## Inconvenientes

- Es un sistema más lento, caro y complejo.
- Sólo puede transmitir energía, no almacenarla.

El cilindro estará ubicado aguas arriba de la compuerta, esta ubicación facilita la inspección visual en caso hubiese fuga de aceite o rotura de manguera hidráulica. Se recomienda, si es necesario, colocar un protector metálico al cilindro hidráulico para protegerlo de posibles impactos de ramas, maderas flotantes traídas por al agua véase la figura 4.16.



Figura 4.16. Compuerta Clapeta con accionamiento aguas arriba

También existen compuertas con accionamiento aguas abajo y un solo cilindro hidráulico, tiene dificultad durante las instalaciones de las líneas hidráulicas y el mantenimiento de estas ver figura 4.17.



Figura 4.17. Compuerta clapeta con accionamiento aguas abajo

Para determinar la posición y la carrera de trabajo del cilindro hidráulico se simuló la compuerta en posición de apertura y cierre.

- Compuerta posición de trabajo =  $68.2^\circ$
- Apertura total =  $52.5^\circ$
- Carrera de trabajo = 2410 mm

En la figura 4.18 se ilustra la carrera de trabajo y el giro que realiza el cilindro hidráulico, el cilindro hidráulico no debe interferir con las guías de montaje de las turbinas.

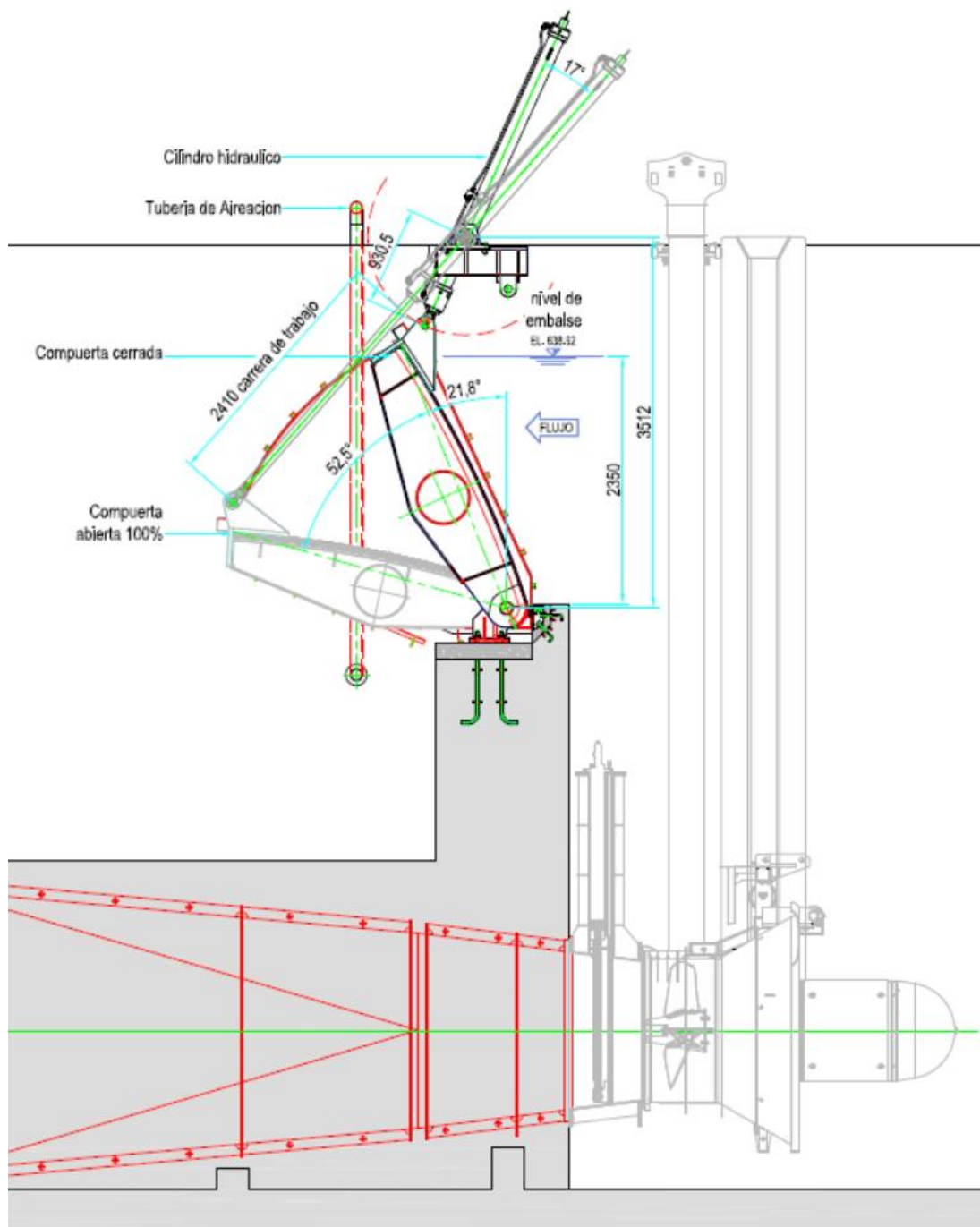


Figura 4.18. Posición de trabajo de la compuerta clapeta.

#### 1.46. Requerimiento de aireación

Durante la etapa de mantenimiento de las turbinas la compuerta tendrá función de vertedero permitiendo el rebose del líquido  $21.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , es necesario tener una descarga de



chorro libre para ello hay que ventilar debidamente el espacio debajo del chorro. Para ello, si es necesario, se colocan tomas de aire que garantiza la comunicación con la atmósfera.

La pared delgada puede tener un cierto espesor, si es menor que  $2H/3$  se considera que el vertedero es en pared delgada como se deduce de la observación de la figura 4.19 que corresponde a una napa vertiente en cresta delgada, siendo  $H$  la carga sobre el vertedero [17].

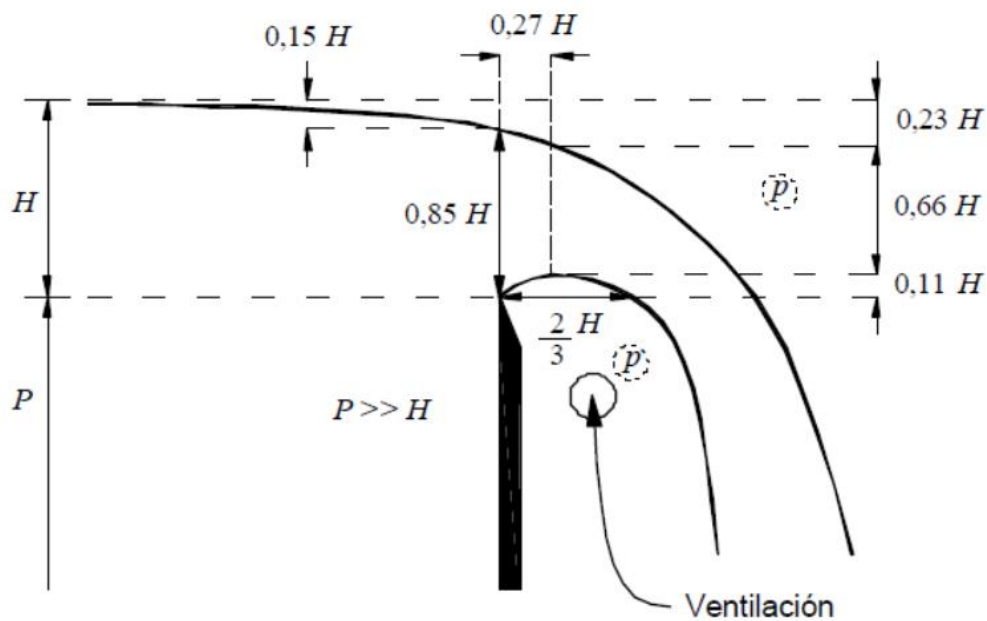


Figura 4.19. Detalle de las características geométricas de la napa vertiente en un vertedero en pared delgada, convenientemente aireada [17].

Para ver las presiones negativas generadas por la napa vertiente se realizó un análisis CFD (Mecánica de Fluidos Computacional) del tramo indicado, usando como herramienta computacional la plataforma CFX del software ANSYS.

Se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en la tabla 4.2:

<b>Abertura de la compuerta</b>	25%	50%	75%	100%
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.85	4.5	11	21
<b>Elevación máxima de agua (msnm)</b>	633.5	633.5	633.3	633
<b>Velocidad máxima (m/s)</b>	8	8	6	4
<b>Presión al pasar la compuerta (kPa)</b>	Entre -7 y -2	Entre -5 y 0	Entre -4 y 0	Entre - 1.2 y 0

Tabla 4.2. Presiones negativas bajo la compuerta para 100, 75 y 50%

En la figura 4.20 se muestra las concentraciones de presiones, se muestra que bajo la compuerta se genere presiones negativas, la regleta de colores esta expresada en unidades de Pascales.

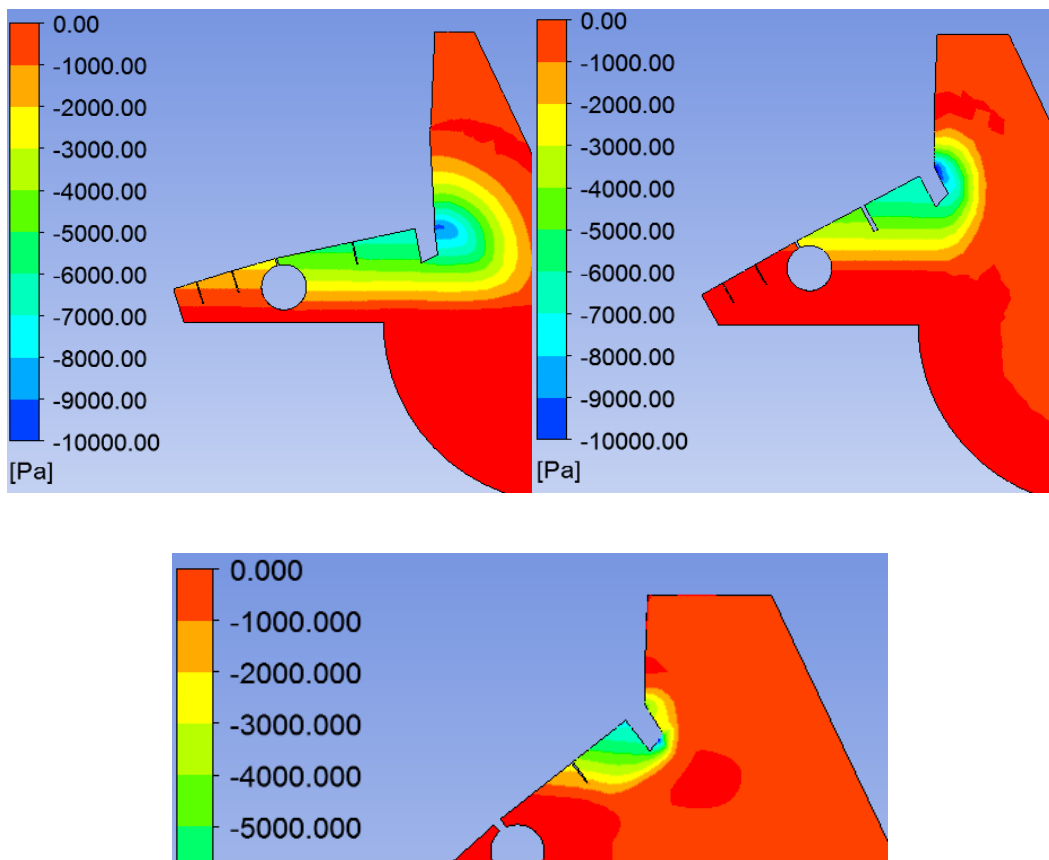


Figura 4.20. Presiones negativas bajo la compuerta para 100, 75 y 50% de abertura



Utilizando la fórmula de Francis y considerando un vertedero de cresta aguda tal como se muestra en la figura 4.21, para lo cual corresponde un coeficiente  $C_d=1.84$ , luego con la ayuda del Software *HCANALES* se calculó lo siguiente:

Carga sobre el vertedero = 1.56 m

Caudal = 21.5 m<sup>3</sup>/s

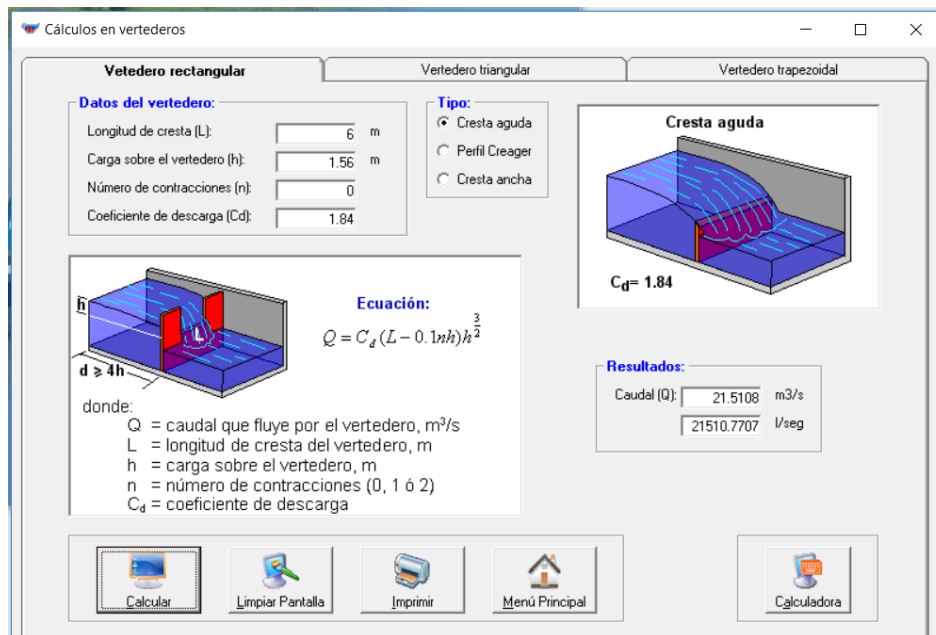


Figura 4.21. Cálculo de carga sobre el vertedero

### 1.47. Divisores de flujo de agua

Los divisores de flujo de agua al igual que los ductos de aireación tienen la función de evitar que por debajo de la compuerta no se generen presiones negativas, Se recomienda utilizar divisores de flujo para compuerta con aperturas parciales.

En la figura 4.22 se ve como el flujo es dividido y así se permite la comunicación con la presión atmosférica, los divisores de flujo pueden medir entre 100 a 200mm.



Figura 4.22. Napa vertiente dividida por los divisores de flujo de agua [1].

## CAPÍTULO 5

### CÁLCULOS

1.48. Datos según especificaciones técnicas

TABLA DE DATOS PARA EL DISEÑO			
Descripción	Magnitud		Unid.
Longitud de vano	$L_v =$	6000	mm
Altura de Compuerta	$A_c =$	2350	mm
Caudal	$Q =$	21	m <sup>3</sup> /s
Cota de solera	$C_s =$	636.37	msnm
Cota de nivel normal de agua	$C_{na} =$	638.72	msnm
Cota de nivel máximo de agua	$C_{ma} =$	638.72	msnm
Carga de agua normal	$H_n = C_{na} - C_s =$	2.35	m
Carga de agua máxima	$H_m = C_{ma} - C_s =$	2.35	m
<b>DATOS DEL MATERIAL</b>	<b>ASTM A36</b>		
Esfuerzo de fluencia:	$\sigma_y =$	250	MPa
Esfuerzo de Tracción:	$\sigma_u =$	400	MPa
Módulo de elasticidad:	$E =$	210	GPa
<b>CONSIDERACIONES</b>			
Aceleración de la gravedad:	$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Densidad del agua	$\rho =$	1000	kg/m <sup>3</sup>
Peso específico del agua	$\gamma =$	1000	kgf/m <sup>3</sup>
	$\gamma =$	9810	N/m <sup>3</sup>
Densidad del acero	$\rho_{ac} =$	7850	kg/m <sup>3</sup>
<b>CARGA HIDROSTATICA</b>			
Carga de agua normal	$H_n =$	2.35	m
Carga de agua máxima	$H_m =$	2.35	m

Tabla 5.1. Datos de las especificaciones técnicas.

En la figura 5.1 ilustra el incremento de presión hidrostática en función al incremento de la altura de agua.

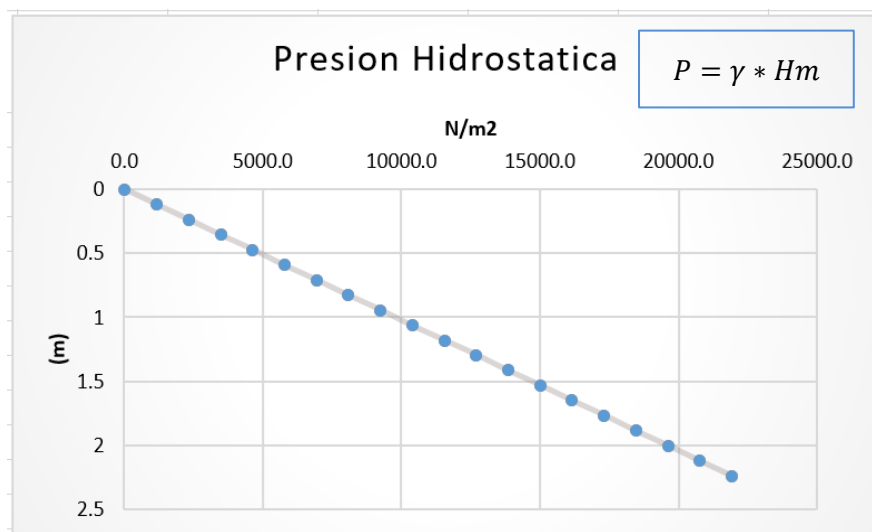


Figura 5.1. Presión Hidrostática vs altura de agua.

TABLA DE DATOS PARA LA PRESIÓN DEBIDO AL SEDIMENTO Y SISMO			
Descripción	Magnitud		Unid.
<b>CARGA DE SEDIMENTOS [18]</b>			
Nivel de depósito de sedimentos	Ns =	0	m
Presión debido a los sedimentos	Pse =	0	m
<b>CARGA DE POR EFECTOS SISMICOS</b>			
Factor de zona sísmica Z, En Lima y todas las provincias, zona 4 (Según tabla 1, E0.30):	Z =	0.45	
Factor de importancia U, Edificaciones importantes, Categoría A (Según tabla 5, E0.30).	U =	1.5	
Perfil Tipo S: Propiedades poco conocidas, entonces: S3 Según tabla 3, E0.30	S =	1.1	

Tabla 5.2. Datos para determinar la presión debido al sedimento y sismo.

Altura de onda debido al terremoto se calcula mediante la siguiente formula:

$$he = \frac{kh * T}{2 * \pi} * \sqrt{g * H} \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

- he : Altura de onda en (m)
- kh = Z : Intensidad sísmica en dirección horizontal.
- g : Aceleración de la gravedad.
- T = 0.3s : Periodo sísmico.
- H = Hm : Altura aguas arriba del terreno de cimentación.

Reemplazando los datos se obtiene que la altura de la ola es de:

$$he = 0.103m$$

### **PRESION DINAMICA DEL AGUA DURANTE TERREMOTOS**

Presión dinámica se calcula mediante la siguiente formula:

$$Pd = \frac{7}{8} * \rho * g * k * \sqrt{H * h} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

- H = Hm : la profundidad del agua desde el nivel del agua del embalse de terreno de cimentación, altura de las olas por el viento y terremoto no incluido, en metros
- Pd : Presión dinámica del agua (kN/m<sup>2</sup>)
- ρ : Peso específico del agua.
- g : Aceleración de la gravedad.
- h : la profundidad del agua desde el nivel del agua del embalse a un punto dado, en metros.
- k = Z : Intensidad sísmica.

En la figura 5.2 ilustra el incremento de presión hidrostática e hidrodinámica en función al incremento de la altura de agua, la presión hidrodinámica tiene forma semiparabólico.

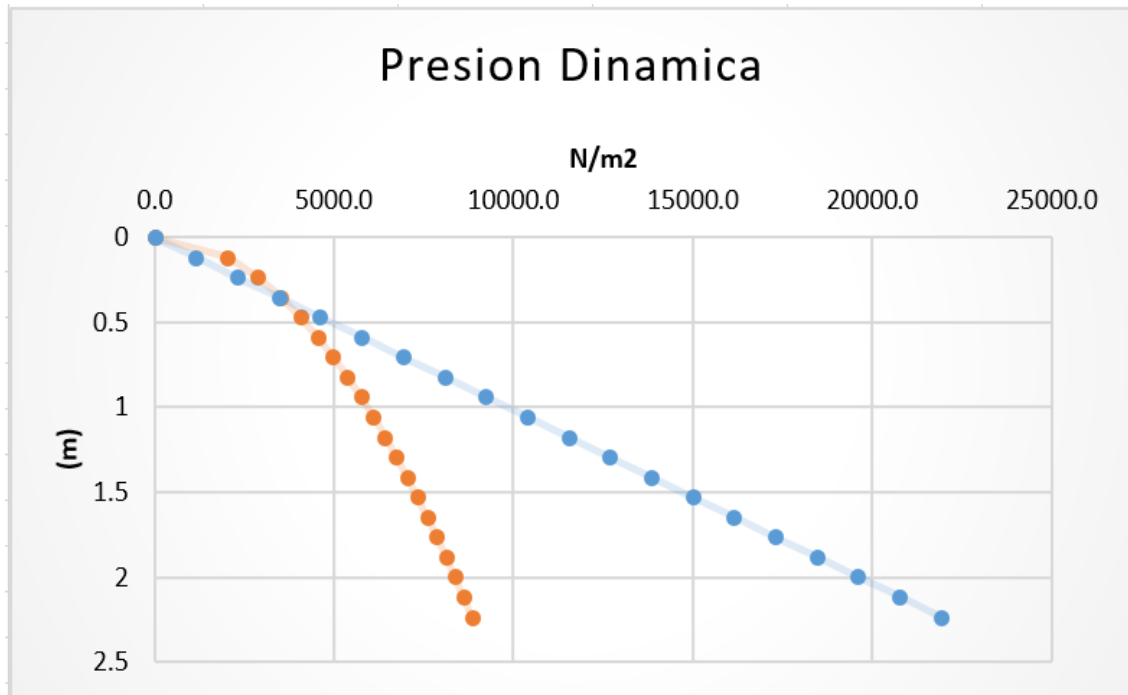


Figura 5.2. Presión Dinámica vs altura de agua.

### CASOS DE CARGA

El estado de cargas se define según las posibles combinaciones indicadas en la norma DIN19704 [19].

ESTADO DE CARGAS :	COMBINACIONES				
	P.H.N	P.S.	P.H.M.	P.D.	P.I.
CASO DE CARGA NORMAL DE SERVICIO					
CASO DE CARGA OCASIONAL					
CASOS DE CARGA EXCEPCIONAL					

P.H.N = PRESION HIDROSTATICA NORMAL  
P.S. = PRESION DEL SEDIMENTO  
P.H.M. = PRESION HIDROSTATICA MAXIMA  
P.D. = PRESION DINAMICA  
P.I = PRESION INERCIA DURANTE TERREMOTO

Consideraciones:

- El análisis se realizará con el caso de carga más desfavorable en este será el caso de carga Excepcional.

- b) Se desprecia la presión de inercia por ser una estructura secundaria con respecto a la obra civil

### CASOS DE CARGA EXCEPCIONAL

Por fines de cálculo, reemplazaremos la distribución de presiones anterior por una densidad "equivalente" para las dimensiones de la compuerta, que aplique una presión igual o superior al caso de carga excepcional. Para ello usaremos la fórmula de "Presión Hidrostática".

$$\frac{Pe}{Hm} = \gamma_e \dots\dots\dots (12)$$

En la figura 5.3 ilustra la presión equivalente que es la suma vectorial de la presión hidrostática e hidrodinámica, en la tabla 5.1 se muestra los valores de presión a cada 0.1175 m, esta simplificación se realiza por fines de cálculo.

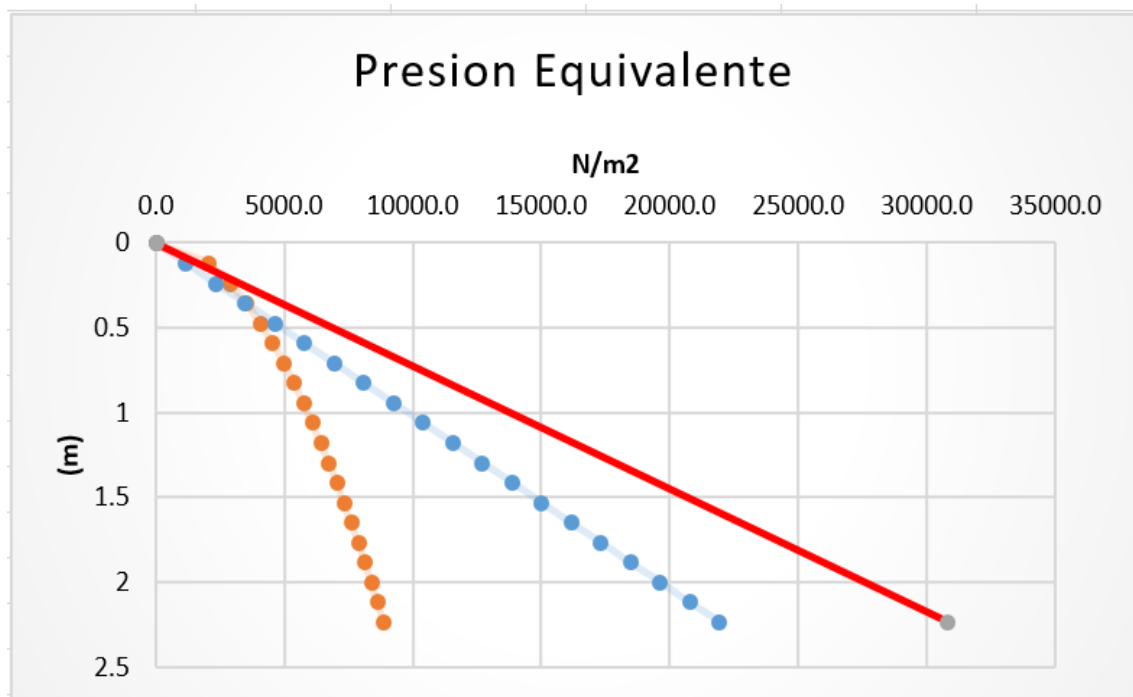


Figura 5.3. Presión Equivalente.



Altura (m)			
2.35	Presion Hidrostatica (N/m2)	Presion dinamica (N/m2)	Presion Equivalente P + Pd = Pe (N/m2)
0.000	0.0	0.0	0.0
0.118	1152.7	2029.7	3182.5
0.235	2305.4	2870.5	5176.1
0.353	3458.0	3515.6	6974.0
0.470	4610.7	4059.5	8670.7
0.588	5763.4	4538.7	10302.6
0.705	6916.1	4971.9	11888.6
0.823	8068.7	5370.2	13439.8
0.940	9221.4	5741.0	14963.3
1.058	10374.1	6089.2	16464.4
1.175	11526.8	6418.6	17946.6
1.293	12679.4	6731.9	19412.6
1.410	13832.1	7031.3	20864.8
1.528	14984.8	7318.4	22304.7
1.645	16137.5	7594.6	23733.7
1.763	17290.1	7861.2	25153.1
1.880	18442.8	8119.0	26563.7
1.998	19595.5	8368.9	27966.3
2.115	20748.2	8611.5	29361.8
2.233	21900.8	8847.5	30750.5
2.350	23053.5	9077.3	32133.2

Tabla 5.3. Presión Equivalente.

1.49. Resumen - datos entrada para el diseño de la compuerta

RESUMEN DE DATOS DE ENTRADA			
Descripción	Magnitud		Unid.
Carga de agua máxima	Hm =	2.35	m
Peso específico Equivalente	$\gamma_e =$	13673.7	N/m <sup>3</sup>

Tabla 5.4. Resumen de cargas para el diseño.

### 1.50. Fuerza resultante aplicadas al skin plate

Considerando el nivel superior de agua constante, la compuerta recibe la máxima carga cuando se ubica en la posición abierta. En la figura 5.4 se muestra la distribución de la presión equivalente sobre la compuerta en posición cerrada, la presión es normal a la superficie sumergida.

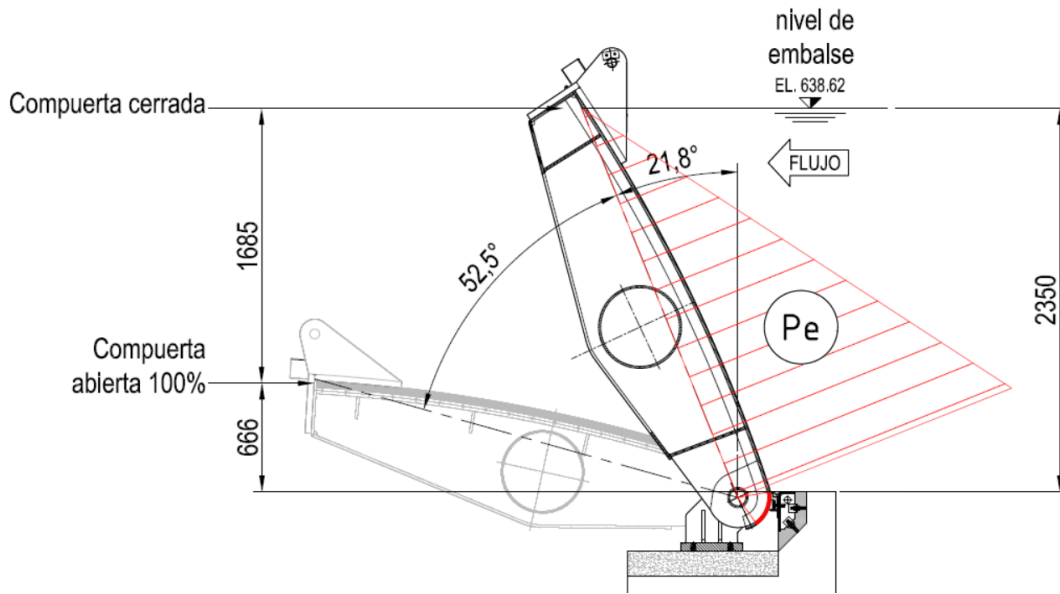


Figura 5.4. Distribución de presión Hidrostática

Se observa que la compuerta soporta mayor presión (caso más desfavorable) en el caso de carga excepcional y cuando se ubica en la posición abierta; por ello se realizará el análisis de este caso.

DATOS COMPUERTA POSICION CERRADA			
Área sumergida	As =	15.2	m <sup>2</sup>
Peso específico Equivalente	ye =	13673.7	N/m <sup>3</sup>
Profundidad del centroide "y"	hc =	1.175	m
Profundidad del centroide	yc =	1.266	m
Angulo compuerta Posición cerrada	θa =	68.2	°
Momento de Inercia (rectángulo)	Ix =	8.1	m <sup>4</sup>

Tabla 5.5. Datos de compuerta posición cerrada.

La fuerza resultante se calculará con las siguientes fórmulas de estática de fluidos.

$$Fr = \gamma e * hc * As \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$yp = yc + \frac{Ix}{yc * As} \quad \dots\dots\dots (14)$$

En la figura 5.5 ilustra la ubicación de la fuerza resultante sobre la compuerta en posición cerrada, la fuerza resultante es normal a la superficie sumergida.

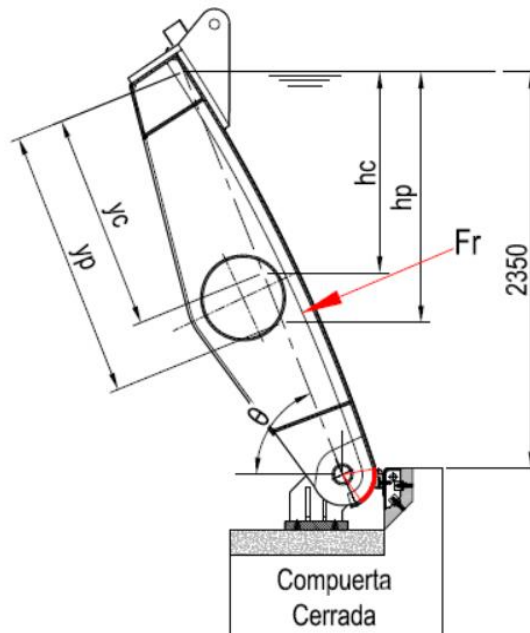


Figura 5.5. Fuerza resultante compuerta posición cerrada.

DATOS DE UBICACIÓN DE FUERZA RESULTANTE			
Descripción	Magnitud		Unid.
Fuerza resultante	Fr =	243987.4	N
	Fr =	244.0	kN
Centro de presiones compuerta	yp =	1.69	m
Centro de presiones compuerta - punto de giro	m1 =	0.844	m

Tabla 5.6. Datos de ubicación de fuerza resultante posición cerrada.

COMPUERTA POSICION ABIERTA			
Angulo compuerta Posición abierta	$\theta_c =$	15.7	°
Profundidad del centroide "y" (figura 5.5)	$h_c =$	2.021	m
Profundidad del centroide (figura 5.5)	$y_c =$	7.47	m

Tabla 5.7. Datos de compuerta posición abierta.

En la figura 5.6 ilustra la ubicación de la fuerza resultante sobre la compuerta en posición abierta, la fuerza resultante es normal a la superficie sumergida.

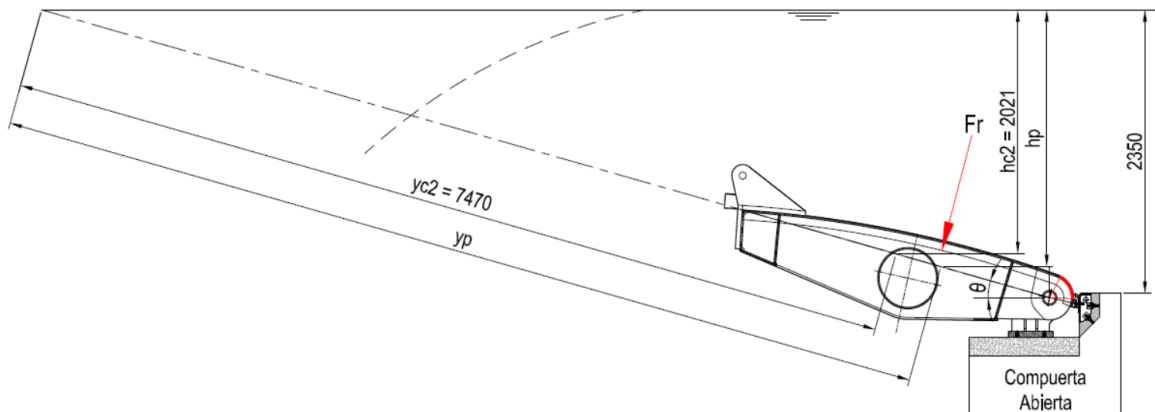


Figura 5.6. Fuerza resultante compuerta posición abierta.

DATOS DE UBICACIÓN DE FUERZA RESULTANTE			
Descripción	Magnitud	Unid.	
Fuerza resultante	$Fr =$	419658.3	N
	$Fr =$	419.7	kN
Centro de presiones compuerta	$y_p =$	7.54	m
Centro de presiones compuerta - punto de giro	$m_1 =$	1.143	m

Tabla 5.8. Datos de ubicación de fuerza resultante posición abierta.

### 1.51. Esfuerzos admisibles para el skin plate

En la figura 5.7 indica los valores de esfuerzos admisibles para elementos estructurales según DIN19704, como se indica el cálculo se realizará con la carga excepcional, pero por los valores de esfuerzos admisibles serán los indicados para el caso de carga normal.

<i>Type of Stress</i>	<i>Load Case</i>		
	<i>Normal</i>	<i>Occasional</i>	<i>Exceptional</i>
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 5.7. Coeficientes para esfuerzos admisibles elementos estructurales [6].

<b>TABLA DE ESFUERZOS – CASO DE CARGA NORMAL</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Magnitud</b>		<b>Unid.</b>
Material [20]:	ASTM A36		
Esfuerzo de fluencia:	$\sigma_y =$	250	MPa
Esfuerzo de Tracción:	$\sigma_u =$	400	MPa
Módulo de elasticidad:	$E =$	210	GPa
<b>Caso de Carga Normal</b>			
Esfuerzo admisible de tracción:	$0.68 \cdot \sigma_y =$	170	MPa
Esfuerzo admisible de compresión:	$0.59 \cdot \sigma_y =$	148	MPa
Esfuerzo admisible de cizallamiento:	$0.39 \cdot \sigma_y =$	98	MPa
Esfuerzo admisible de esfuerzos combinados:	$0.76 \cdot \sigma_y =$	190	MPa

Tabla 5.9. Datos de esfuerzos – caso de carga normal.

## 1.52. Calculo skin plate

### 1.52.1. Sujeciones

La compuerta tendrá 03 sujeciones en la parte inferior será una sujeción tipo bisagra y 02 sujeciones en la parte superior tipo geometría fija.

El programa para el desarrollo de cálculo será el SolidWorks, en la figura 5.8 y 5.9 ilustra la ubicación de los puntos de sujeción, el número y tipo de entidades se detalle en el cuadro de sujeción.

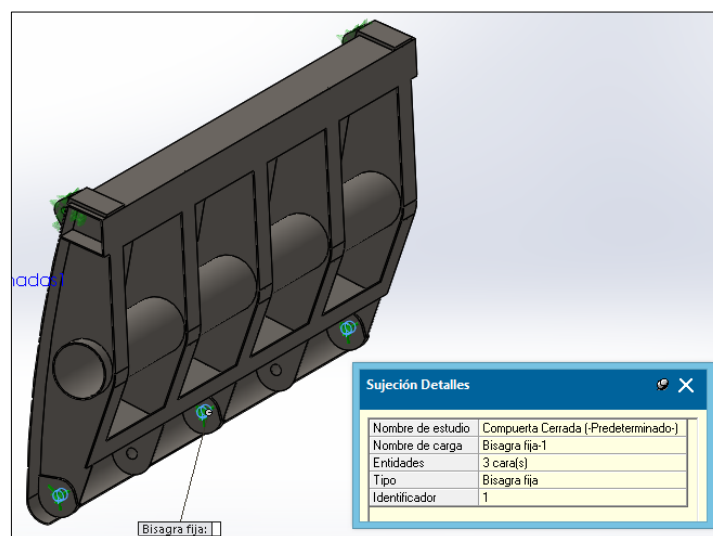


Figura 5.8. Sujeción inferior tipo bisagra fija, compuerta posición abierta y cerrada.

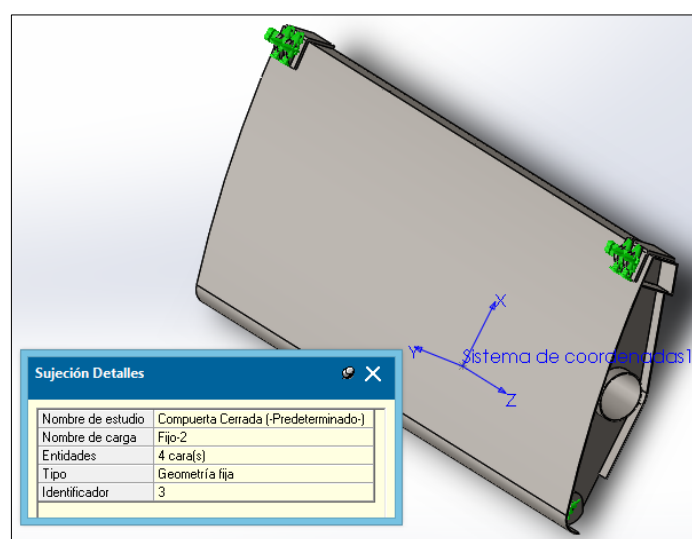


Figura 5.9. Sujeción superior tipo geometría fija, compuerta posición abierta y cerrada.

### 1.52.2. Cargas en compuerta abierta

Las cargas que afectan a la compuerta en posición abierta son; carga hidráulica caso excepcional y la fuerza de gravedad, en la figura 5.10 y 5.11 ilustran la aplicación de las cargas cuando la compuerta está en posición abierta, las magnitudes y las unidades de las cargas se muestran en cuadro de detalles.

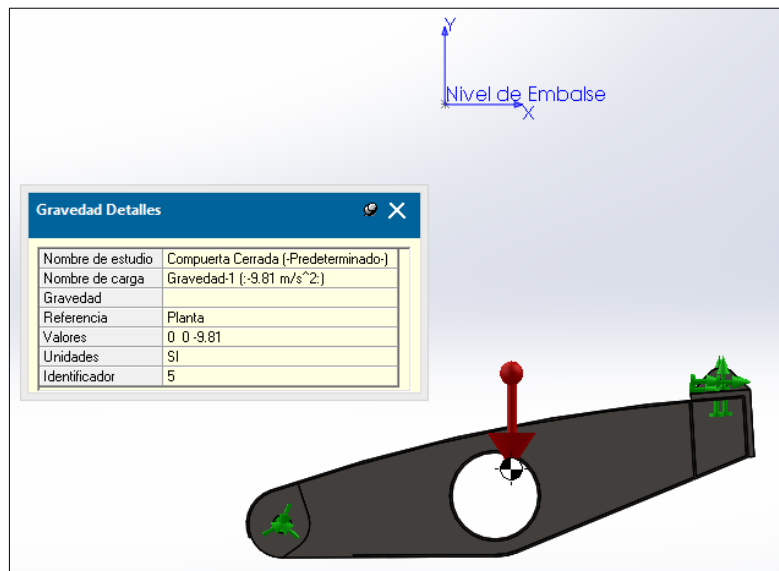


Figura 5.10. Aplicación de la carga de gravedad, compuerta posición abierta.

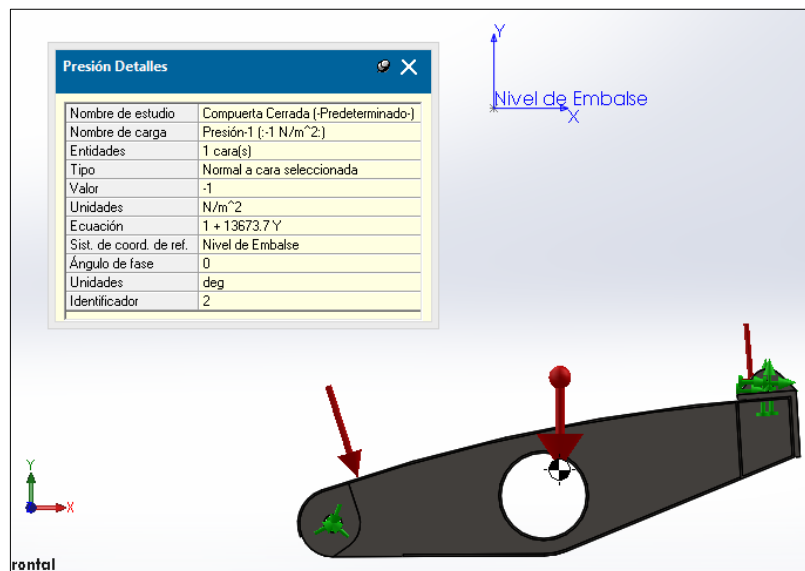


Figura 5.11. Aplicación de la carga de presión desde el nivel de embalse, compuerta posición abierta.

### 1.52.3. Mallado para análisis por elementos finitos

La malla transforma la geometría en un modelo de elementos finitos, formado por elementos y nodos.

Se empleará una mallada basada en curvatura: permite un mallado más exacto cuando la pieza tiene curvaturas con pequeños radios o en caras curvas [21].

Para continuar con el cálculo se procede a enmallar el modelo y seguirá el ilustrado en la figura 5.12, con finalidad de obtener una mallada refinada.

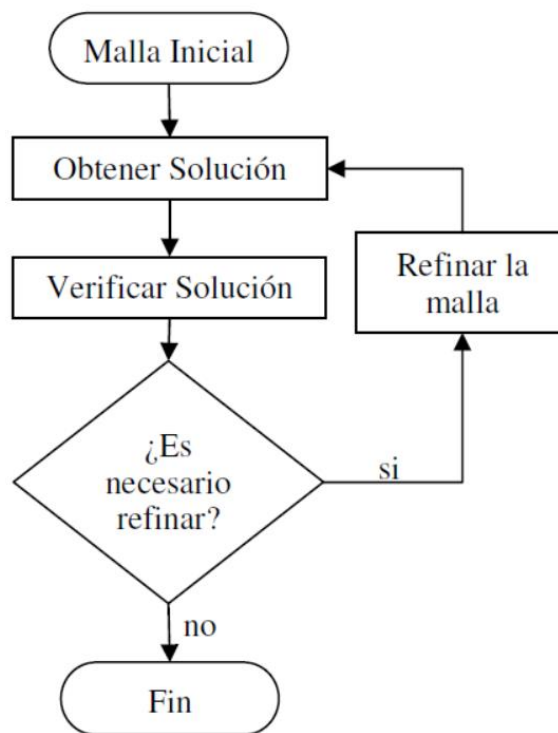


Figura 5.12. Diagrama de flujo empleado para verificación de error de desratización [21].

En la figura 5.13 se muestra el mallado, los detalles y el tipo de malla se muestran en el cuadro de detalles.



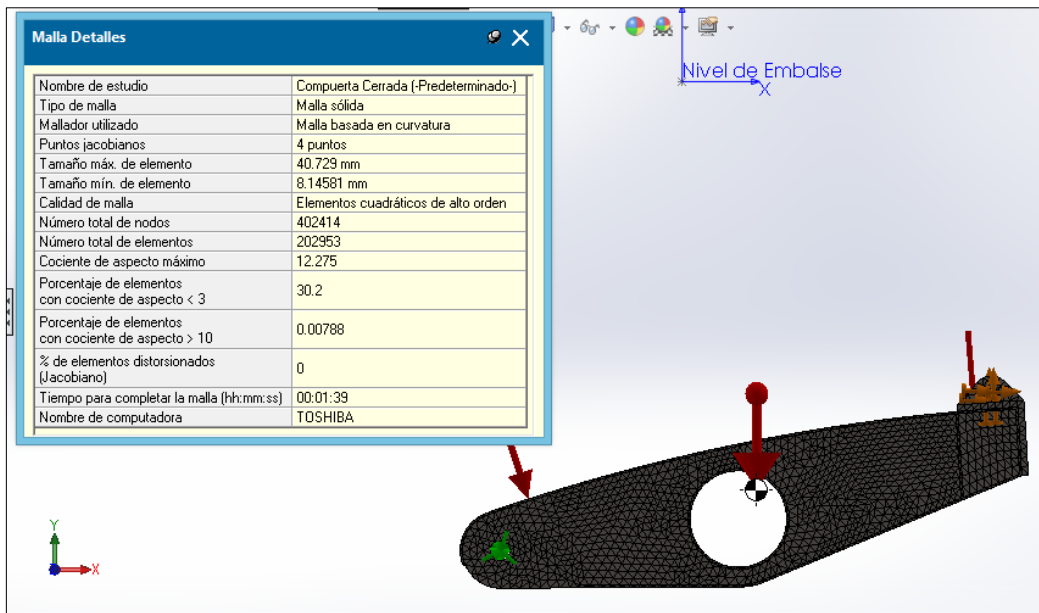


Figura 5.13. Mallado, compuerta posición abierta.

En la figura 5.14 se muestra el desplazamiento total que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 3.32 mm el valor máximo que está ubicado en la zona donde no hay refuerzos verticales, el valor está dentro de lo esperado así que no se requiere reforzarlo.

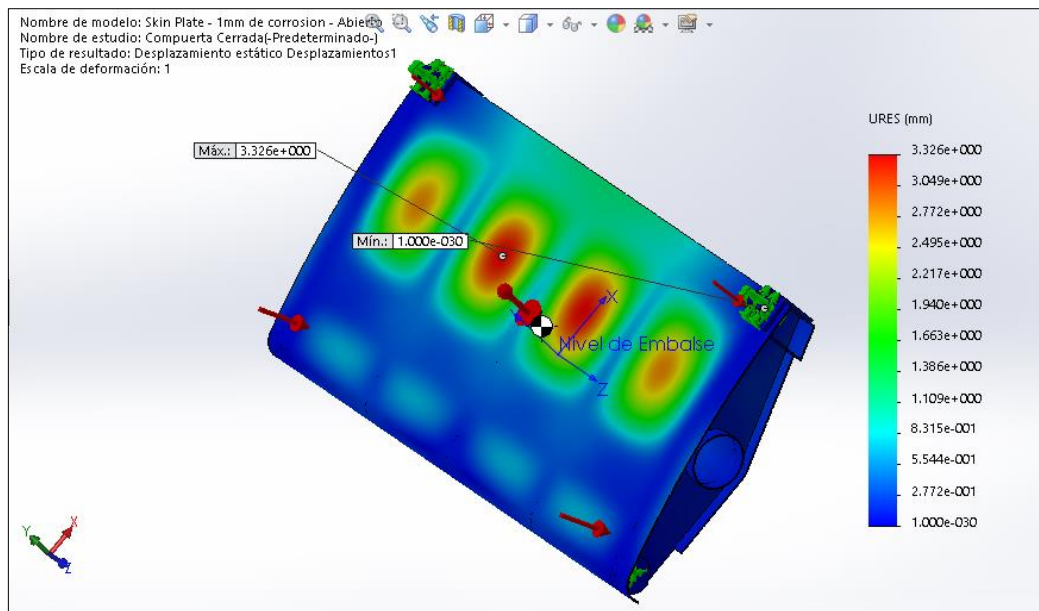


Figura 5.14. Gráfica de la distribución del factor de desplazamiento, compuerta posición abierta.

En la figura 5.15 ilustra la concentración de esfuerzos de Von Mises que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 139.47 MPa el valor máximo.

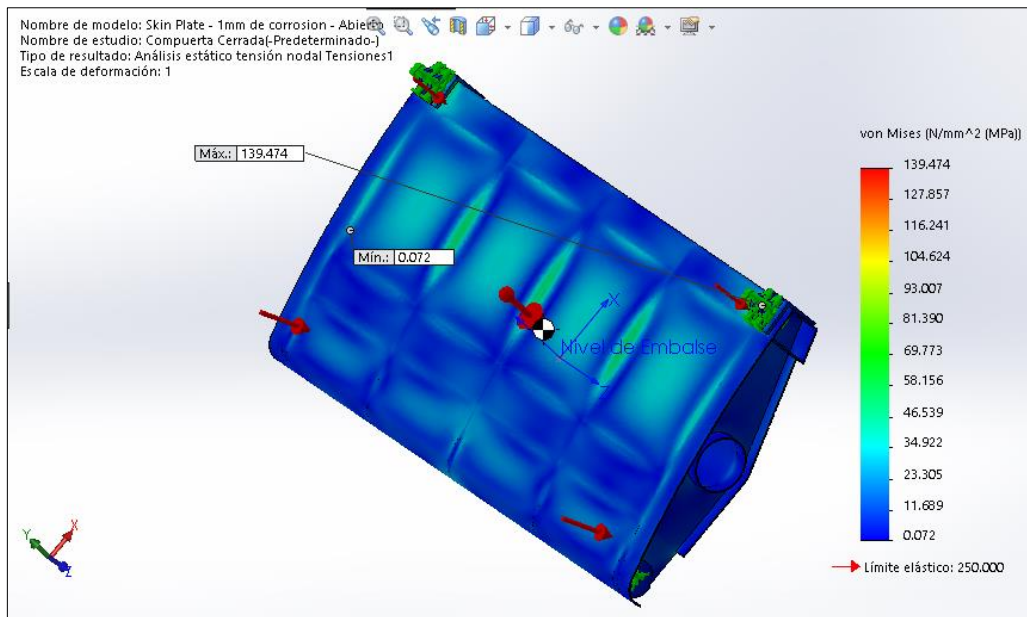


Figura 5.15. Esfuerzos de Von Mises, compuerta posición abierta.

En la figura 5.16 ilustra que el factor de seguridad es uniforme en toda la superficie del skin plate siendo un valor mínimo de 1.79, es diseño es aceptable.

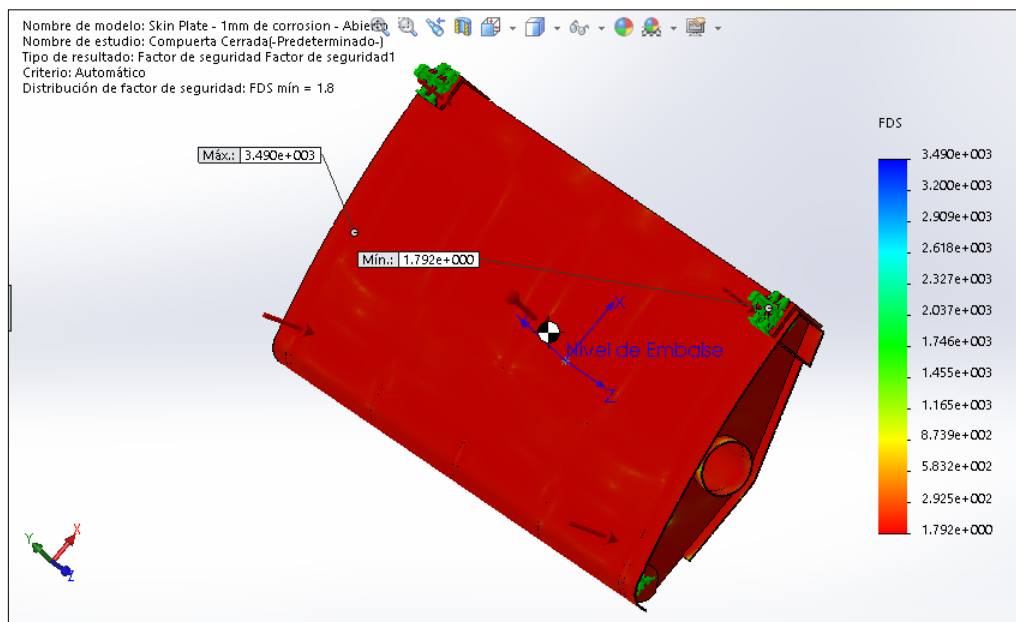


Figura 5.16. Gráfica de la distribución del factor de seguridad, compuerta posición abierta.

#### 1.52.4. Cargas en la compuerta posición cerrada

Las cargas que afectan a la compuerta en posición cerrada son; carga hidráulica caso excepcional y la fuerza de gravedad.

En la figura 5.17 y 5.18 ilustran la aplicación de las cargas cuando la compuerta está en posición cerrada, las magnitudes y las unidades de las cargas se muestran en cuadro de detalles.

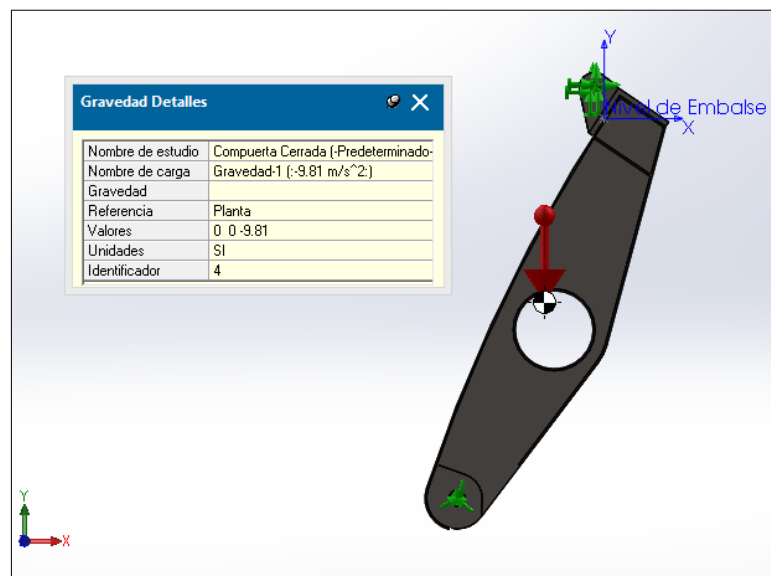


Figura 5.17. Aplicación de la carga de gravedad, compuerta posición cerrada.

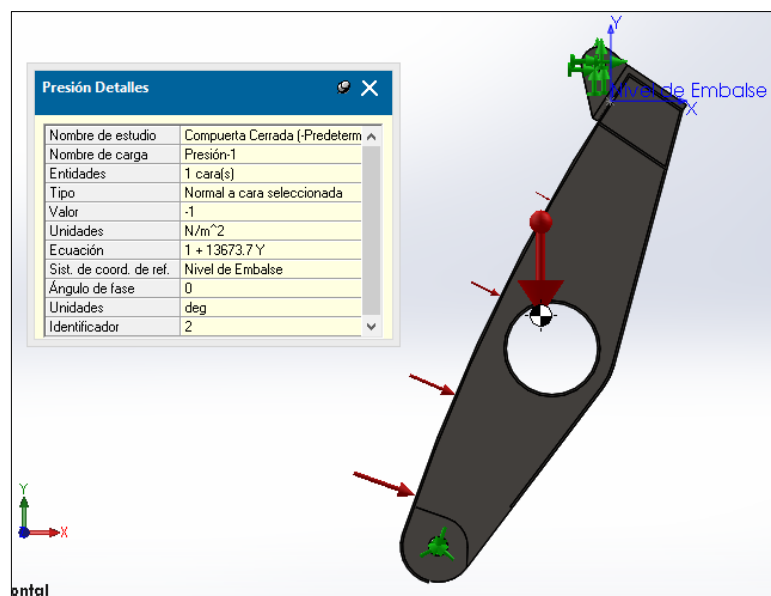


Figura 5.18. Aplicación de la carga de presión, compuerta posición cerrada.

En la figura 5.19 ilustra el mallado, los detalles y el tipo de malla se muestran en el cuadro de detalles.

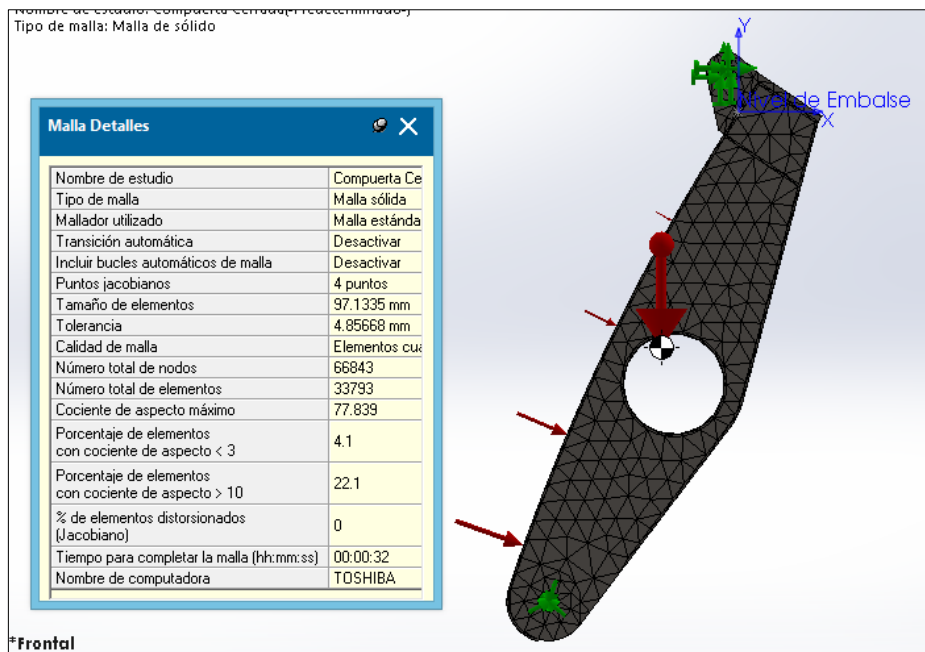


Figura 5.19. Mallado, compuerta posición cerrada.

En la figura 5.20 ilustra la concentración de esfuerzos de Von Mises que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 38.2 MPa el valor máximo.

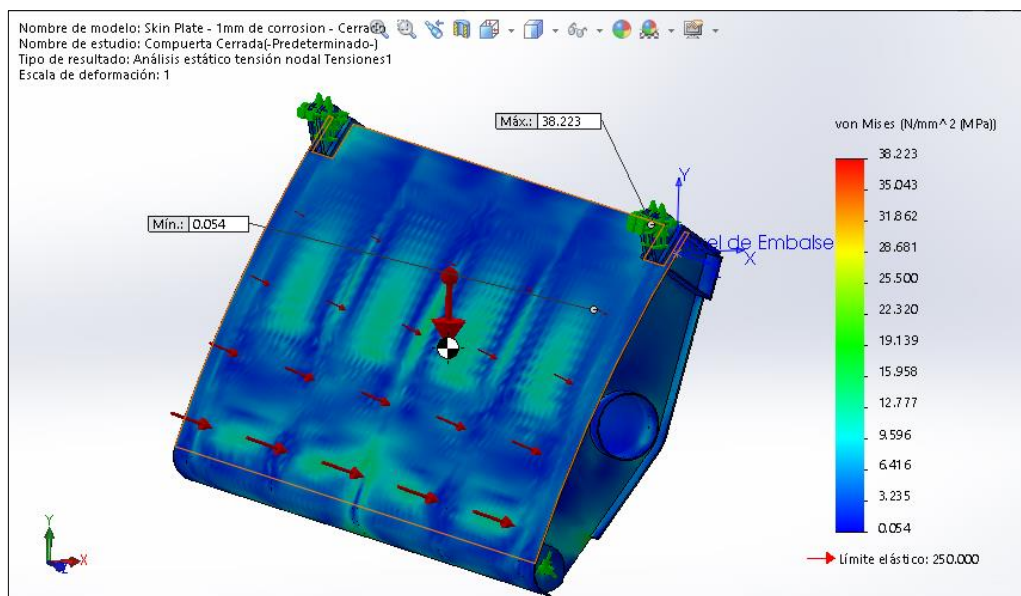


Figura 5.20. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de Von Mises, compuerta posición cerrada.

En la figura 5.14 ilustra el desplazamiento total que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 1.03 mm el valor máximo que está ubicado en la zona donde no hay refuerzos verticales, el resultado obtenido es aceptable, en la figura 5.22 ilustra que el factor de seguridad es uniforme en toda la superficie del skin plate siendo un valor mínimo de 6.54, es diseño es aceptable.

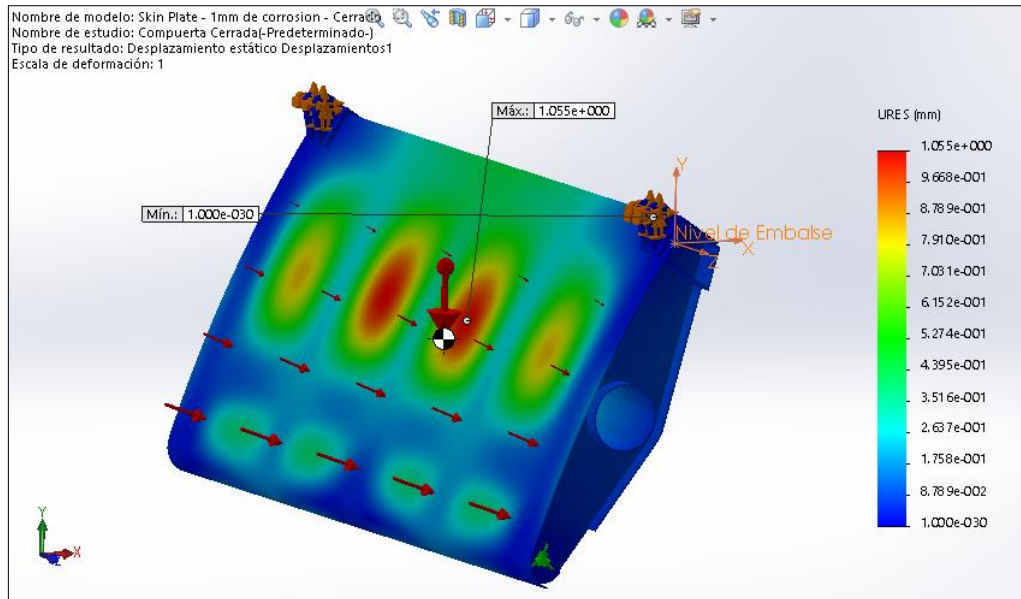


Figura 5.21. Gráfica de la distribución de las deformaciones, compuerta posición cerrada.

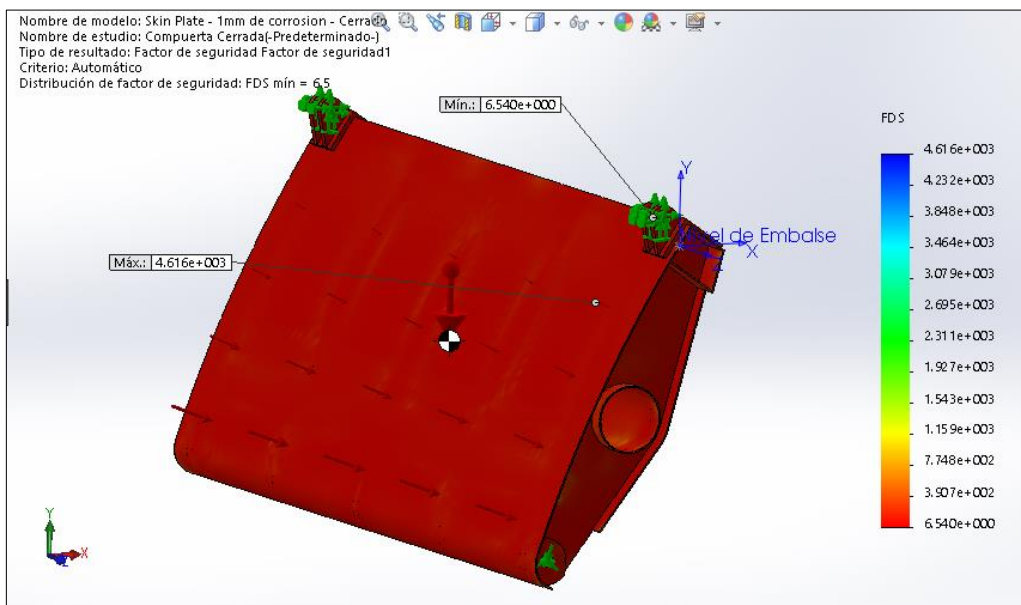


Figura 5.22. Gráfica de la distribución del factor de seguridad, compuerta posición cerrada.

### 1.52.5. Resultados del análisis del skin plate

La tabla 5.2 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el análisis por elementos finitos para el caso de carga Excepcional, se puede decir que tanto para la posición abierta y cerrada la compuerta presenta esfuerzos menores a los admisibles.

El factor de seguridad es conservador, la compuerta trabajara casi siempre en la posición cerrada siendo un factor de seguridad mínimo de 6.5 es conservador para estos tipos de estructuras.

Compuerta Abierta	Admisible	Calculado	
Esfuerzo Von Mises	170MPa	139.477MPa	Cumple
Deformación	L/500 = 12 mm	3.32 mm	Cumple
Factor de Seguridad	1.79 min, 3.49 máx.		Cumple

Compuerta Cerrada	Admisible	Calculado	
Esfuerzo Von Mises	170 MPa	38.223 MPa	Cumple
Deformación	L/500 = 12 mm	1.05 mm	Cumple
Factor de Seguridad	6.5 min		Cumple

Tabla 5.10. Skin plate resultados obtenidos con el caso de carga excepcional:

### 1.53. Cálculo de la fuerza de izaje

Para el cálculo de la fuerza de izaje se tiene que realizar el DCL en la posición de Apertura 100% y cierre se tomara como valor de fuerza de izaje al mayor de estos dos resultados.

### 1.54. Peso de compuerta (Wc)

A partir del modelo 3D con el programa SolidWorks, se calculó peso estimado de la compuerta, tal como se ilustra en la figura 5.23 barra de propiedades.

Wc = 4742.6 kg

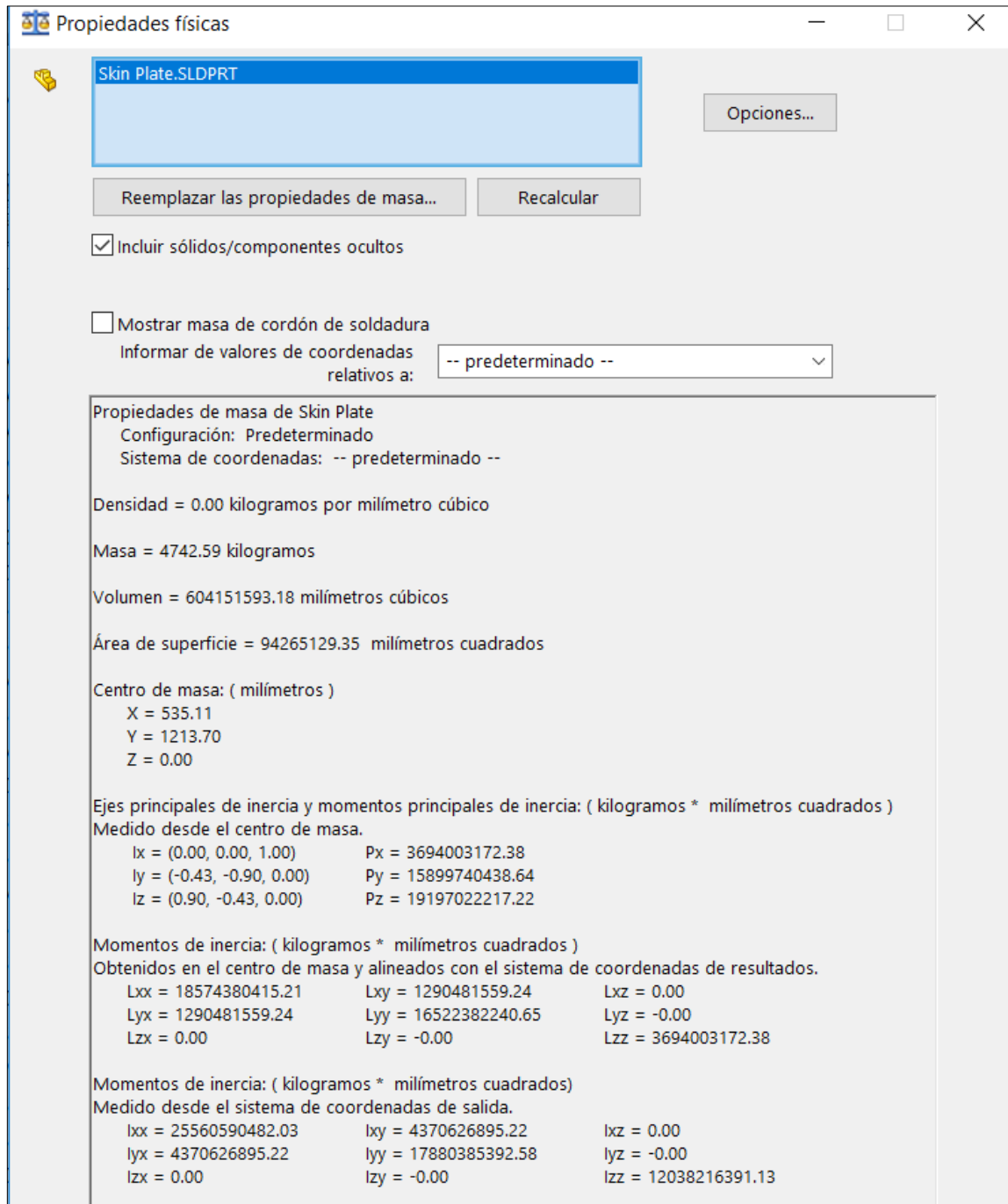


Figura 5.23. Peso de la compuerta



### 1.55. Diagrama de cuerpo libre

TABLA DE FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA COMPUERTA			
Descripción	Magnitud		Unid.
Peso compuerta	$W_c =$	4742.8	kg
	$W_c =$	46.5	kN
Peso compuerta en "x"	$W_{cx} =$	46.5	kN
Peso compuerta en "y"	$W_{cy} =$	0	kN
Fuerza resultante Compuerta Abierta	$F_{ra} =$	419.7	kN
Fuerza resultante Compuerta Abierta en "y"	$F_{ry} =$	389.6	kN
Fuerza resultante Compuerta Abierta en "x"	$F_{rx} =$	155.8	kN
Fuerza resultante Compuerta Cerrada	$F_{rc} =$	244.0	kN
Fuerza resultante Compuerta Cerrada en "y"	$F_{ry} =$	226.5	kN
Fuerza resultante Compuerta Cerrada en "x"	$F_{rx} =$	90.6	kN
Fuerza izaje Compuerta abierta	$F_{ia}$		kN
Fuerza izaje Compuerta abierta en "y"	$F_{iy} =$	0.750 $F_i$	kN
Fuerza izaje Compuerta abierta en "x"	$F_{ix} =$	0.661 $F_i$	kN
Fuerza izaje Compuerta Cerrada	$F_{ic}$		kN
Fuerza izaje Compuerta Cerrada en "y"	$F_{iy} =$	0.909 $F_i$	kN
Fuerza izaje Compuerta Cerrada en "x"	$F_{ix} =$	0.416 $F_i$	kN

Tabla 5.11. Fuerzas que intervienen en la compuerta.

En la figura 5.24 ilustra las fuerzas que actúan sobre la compuerta cerrada y su ubicación con respecto a punto O.



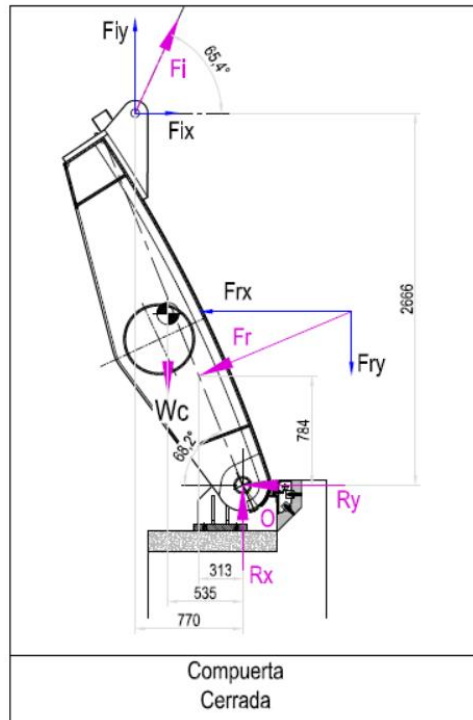


Figura 5.24. Diagrama de cuerpo libre, compuerta cerrada.

Para el cálculo de fuerza de izaje se tomó momentos en punto O.

**Compuerta Abierta**

$$\sum M_o = 0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$Wcx * 1.302m + Fry * 0.942m + Frx * 0.265m = 0.75Fi * 2.584m + 0.661Fi * 1.012m$$

$$Wcx * 1.302m + Fry * 0.942m + Frx * 0.265m = (1.938 + 0.668)Fi$$

Fi =	179.9	kN
Fiy =	135.0	kN
Fix =	118.9	kN

Reacciones en el punto O.

$$\leftarrow \sum Fx = 0 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Frx - Fix + Rx = 0$$

Rx =	28.3	kN
------	------	----

$$\uparrow \sum F_y = 0 \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$-W_c - F_{ry} + F_{iy} + R_x = 0$$

Ry =	301.2	kN
------	-------	----

Entonces la fuerza resultante en el Apoyo es:

Fa =	302.5	kN
------	-------	----

En la figura 5.25 ilustra las fuerzas que actúan sobre la compuerta abierta y su ubicación con respecto a punto O.

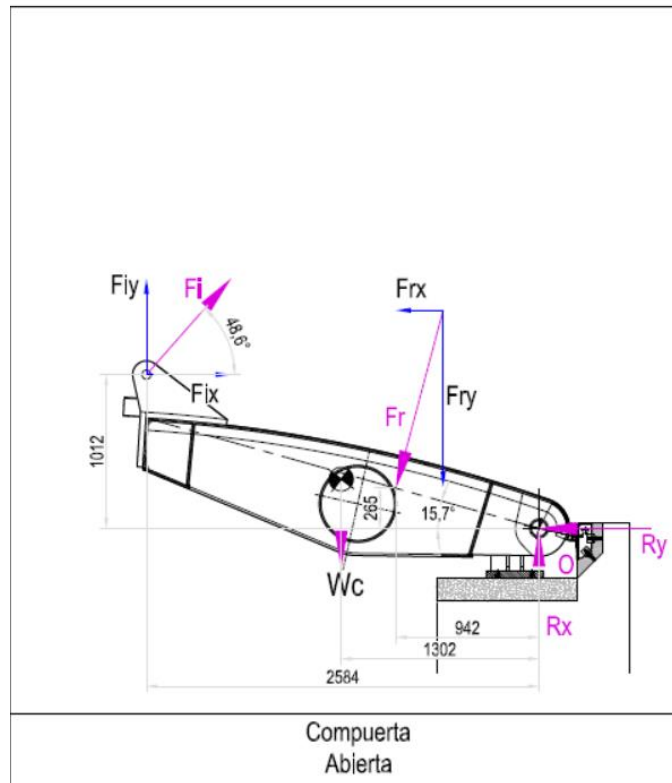


Figura 5.25. Diagrama de cuerpo libre, compuerta abierta.

Para el cálculo de fuerza de izaje se tomó momentos en punto O.

**Compuerta Cerrada**

$$\curvearrowright \sum M_o = 0 \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$W_c x * 0.535m + F_{ry} * 0.313m + F_{rx} * 0.784m = 0.909F_i * 0.77m + 0.416F_i * 2.666m$$

$$W_c x * 1.302m + F_{ry} * 0.942m + F_{rx} * 0.265m = (0.70 + 1.11)F_i$$

$F_i =$	92.2	kN
$F_{iy} =$	83.8	kN
$F_{ix} =$	38.3	kN

Reacciones en el punto O.

$$\leftarrow \sum F_x = 0 \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$F_{rx} - F_{ix} + R_x = 0$$

$R_x =$	-52.3	kN
---------	-------	----

$$\uparrow \sum F_y = 0 \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$-W_c - F_{ry} + F_{iy} + R_x = 0$$

$R_y =$	-189.3	kN
---------	--------	----

Entonces la fuerza resultante en el Apoyo es:

$F_a =$	196.4	kN
---------	-------	----

### 1.56. Soportes de cilindro de hidráulicos

METRADO DE FUERZAS		
La fuerza en el soporte de izaje ( $1.15 \cdot F_i/2$ )	Fic	103 kN
Angulo de aplicación de la fuerza	$\theta_{Fic}$	65.4°
fuerza de diseño	Fid	206.9 kN
fuerza axial (10% de la fuerza de izaje)	Fia	20.69 kN

Tabla 5.12. Metrado de fuerzas.

La fuerza axial sobre el eje de izaje, se considera un 10% de la fuerza de izaje de diseño.

La norma DIN19704 indica que el soporte debe tener la capacidad de soportar toda la carga en caso falle uno de los cilindros hidráulicos.

#### 1.56.1. Material y geometría del soporte de cilindros hidráulicos

En la figura 5.26 indica los valores de esfuerzos admisibles para elementos estructurales según DIN19704, como se indica el cálculo se realizará con la carga excepcional, los valores de esfuerzos admisibles serán los indicados para el caso de carga excepcional.

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 5.26. Coeficientes para esfuerzos admisibles para elementos estructurales [6].

TABLA DE ESFUERZOS – CASO DE CARGA EXCEPCIONAL			
Material [22]	ASTM A572 Gr50		
Esfuerzo de fluencia:	$\sigma_y =$	345	MPa
Módulo de elasticidad:	$E =$	210	GPa
<b>Caso de Carga Excepcional</b>			
Esfuerzo admisible de tracción:	$0.89 \cdot \sigma_y =$	307	MPa
Esfuerzo admisible de compresión:	$0.79 \cdot \sigma_y =$	273	MPa
Esfuerzo admisible de cizallamiento:	$0.51 \cdot \sigma_y =$	176	MPa
Esfuerzo admisible de esfuerzos. combinados:	$0.92 \cdot \sigma_y =$	317	MPa

Tabla 5.13. Esfuerzos – Caso de carga excepcional.

En la figura 5.27 se muestra las dimensiones del soporte de cilindros y la distribución de los rigidizadores, a partir de las dimensiones procedemos a elaborar el modelo 3D en el programa SolidWorks ver figura 5.28.

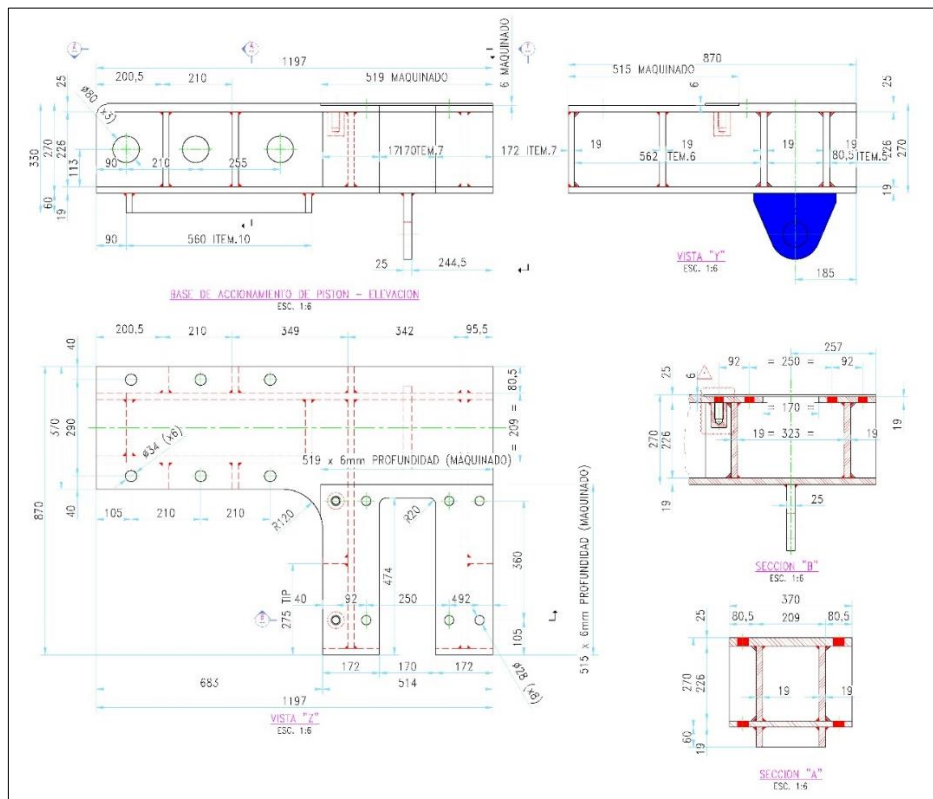


Figura 5.27. Dimensiones de soporte de cilindros hidráulicos.

### 1.56.2. Sujeciones del soporte de cilindros hidráulicos

El soporte de los cilindros hidráulicos se encuentra embebido en concreto

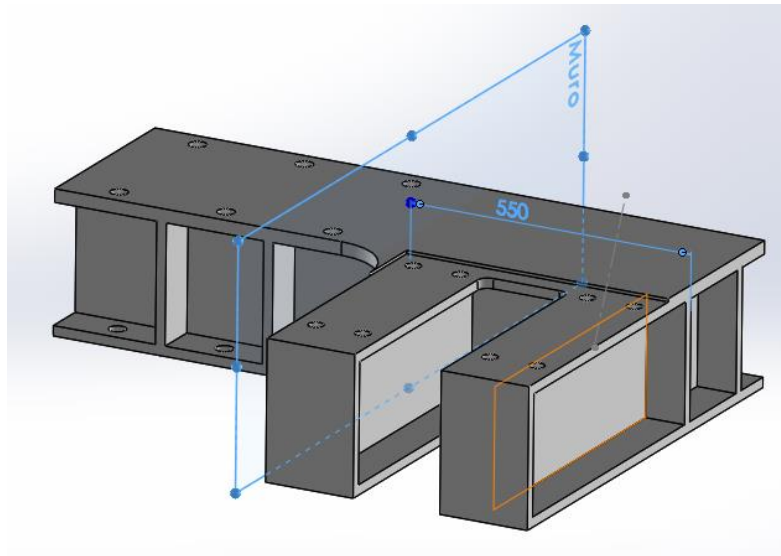


Figura 5.28. Base de cilindro embebido en concreto.

El programa para el desarrollo de cálculo será el SolidWorks, en la figura 5.29 y 5.30 ilustra la ubicación de los puntos de sujeción, el número y tipo de entidades se detalla en el cuadro de sujeción.

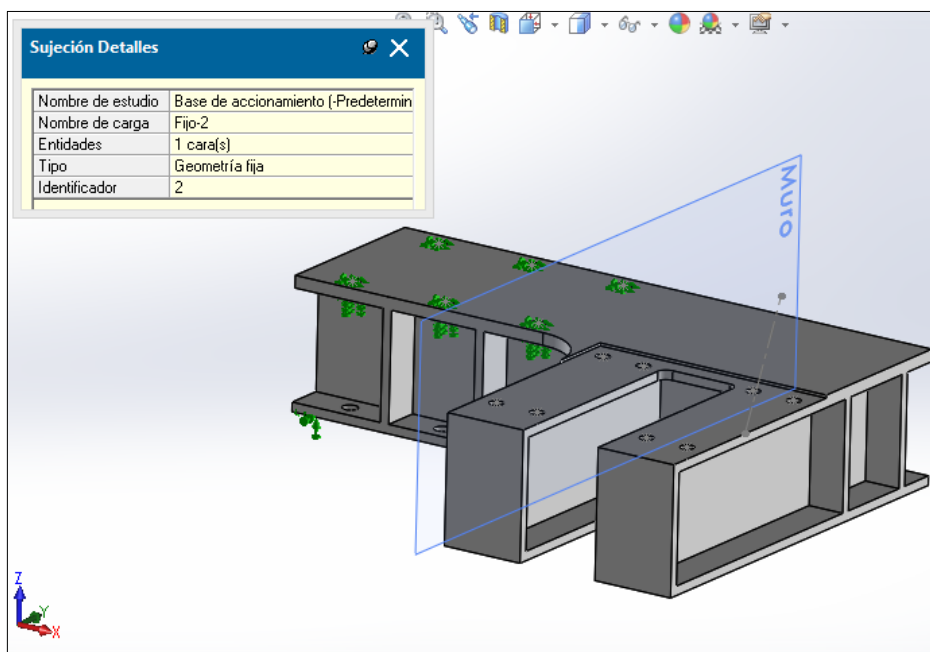


Figura 5.29. Sujeción de Anclajes.

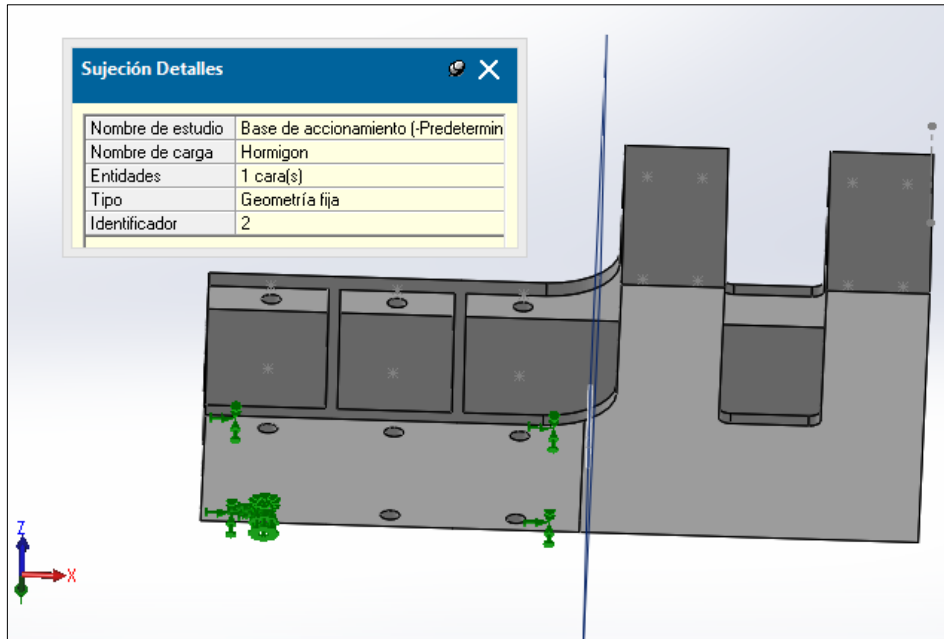


Figura 5.30. Sujeción de hormigón.

### 1.56.3. Aplicación de las cargas y mallado del soporte de cilindros hidráulicos para el análisis por elementos finitos

En la figura 5.31 y 5.32 ilustran la aplicación de las cargas sobre el soporte de los cilindros hidráulicos, las magnitudes y las unidades de las cargas se muestran en cuadro de detalles.

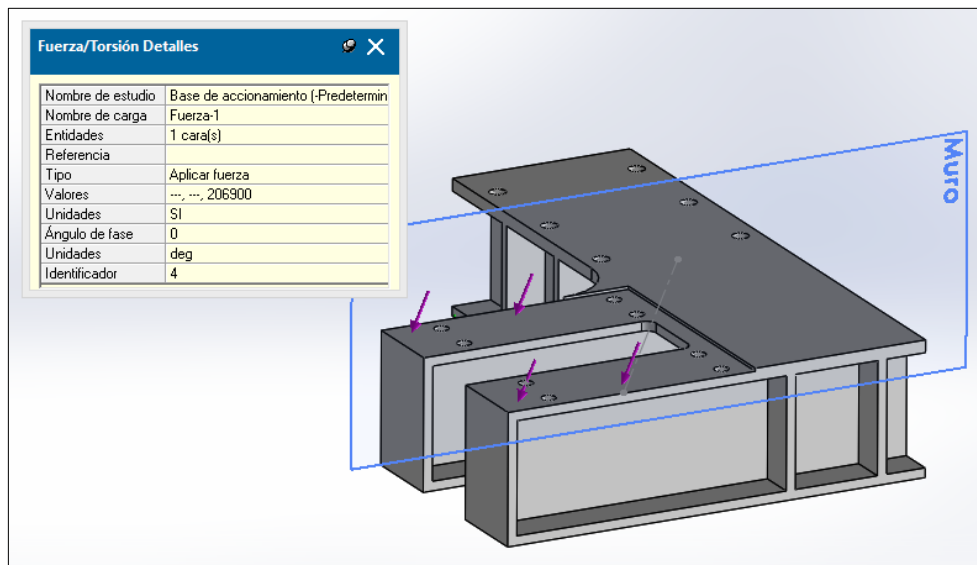


Figura 5.31. Aplicación fuerza de diseño.

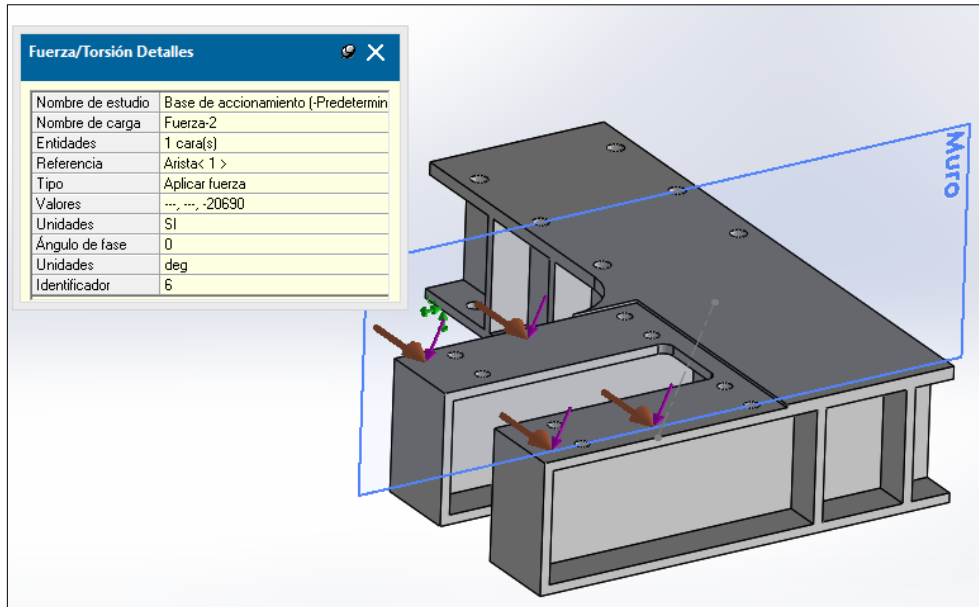


Figura 5.32. Aplicación fuerza axial de diseño.

En la figura 5.33 ilustra el mallado, los detalles y el tipo de malla se muestran en el cuadro de detalles.

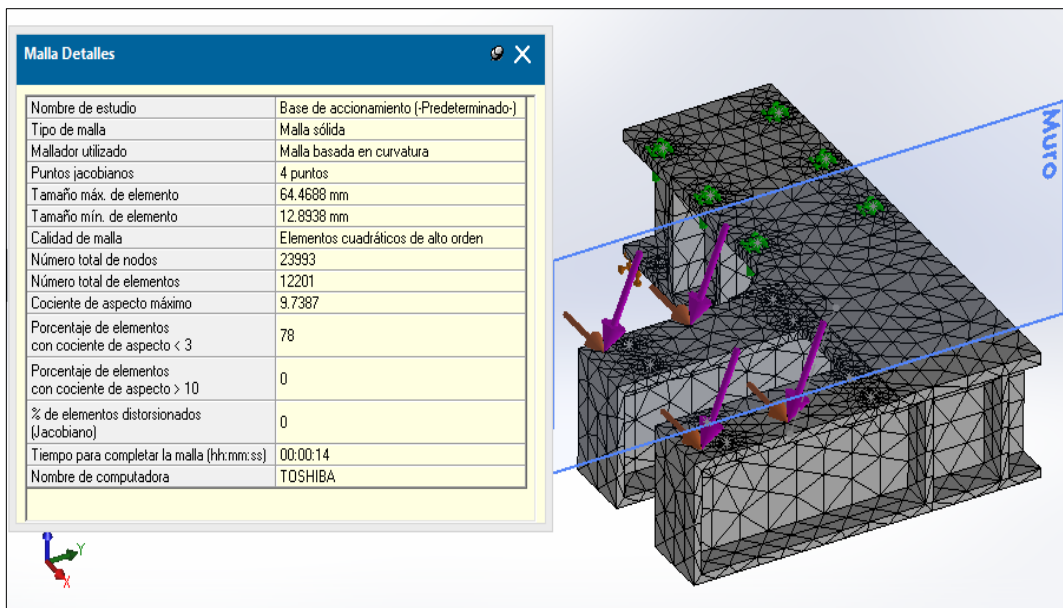


Figura 5.33. Mallado.

#### 1.56.4. Simulación del soporte de los cilindros hidráulicos

En la figura 5.34 ilustra la concentración de esfuerzos de Von Mises que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 237.26 MPa el valor máximo.



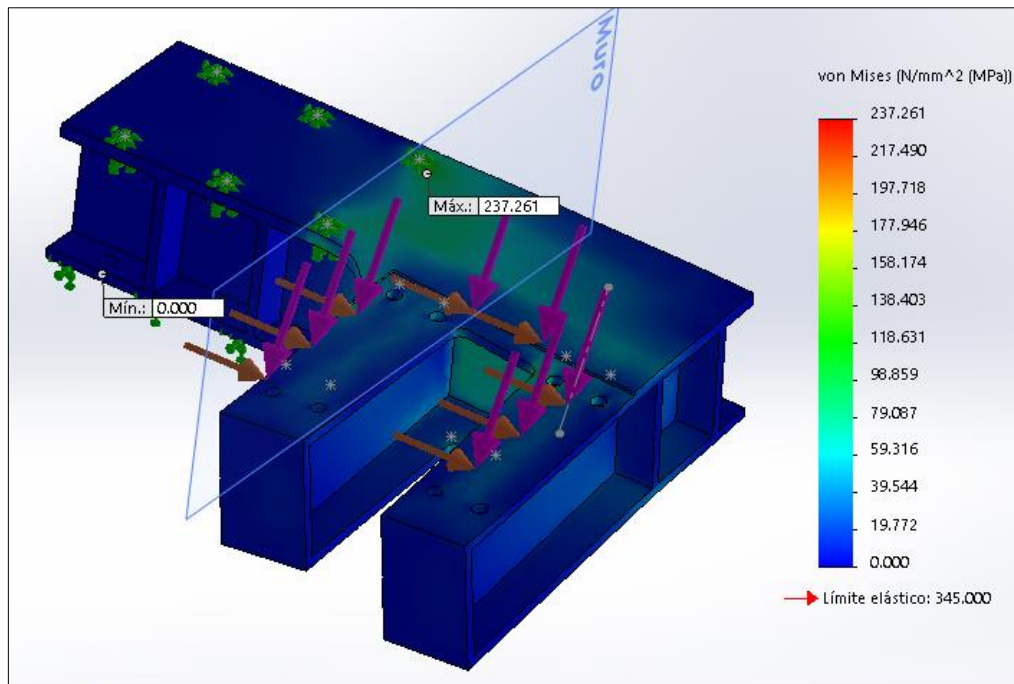


Figura 5.34. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de Von Mises, soporte de cilindros hidráulicos.

En la figura 5.35 ilustra el desplazamiento total que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 1.59 mm el valor máximo que está ubicado en la zona del voladizo, el resultado obtenido es aceptable.

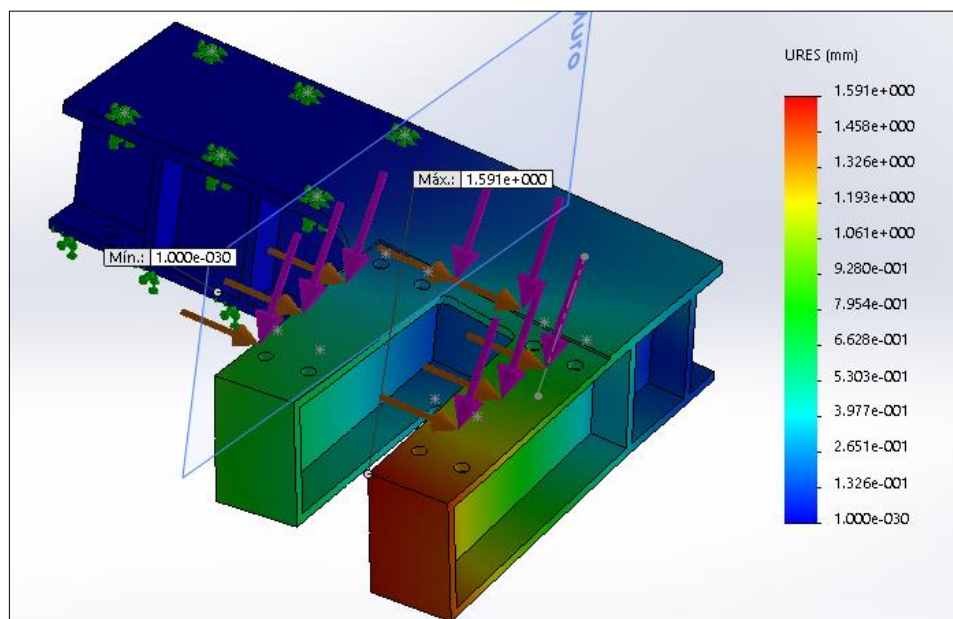


Figura 5.35. Gráfica de la distribución de las deformaciones, soporte de cilindros hidráulicos.

En la figura 5.36 ilustra que el factor de seguridad es uniforme en toda la superficie del soporte siendo un valor mínimo de 1.45, por lo tanto, se puede afirmar que el diseño es aceptable.

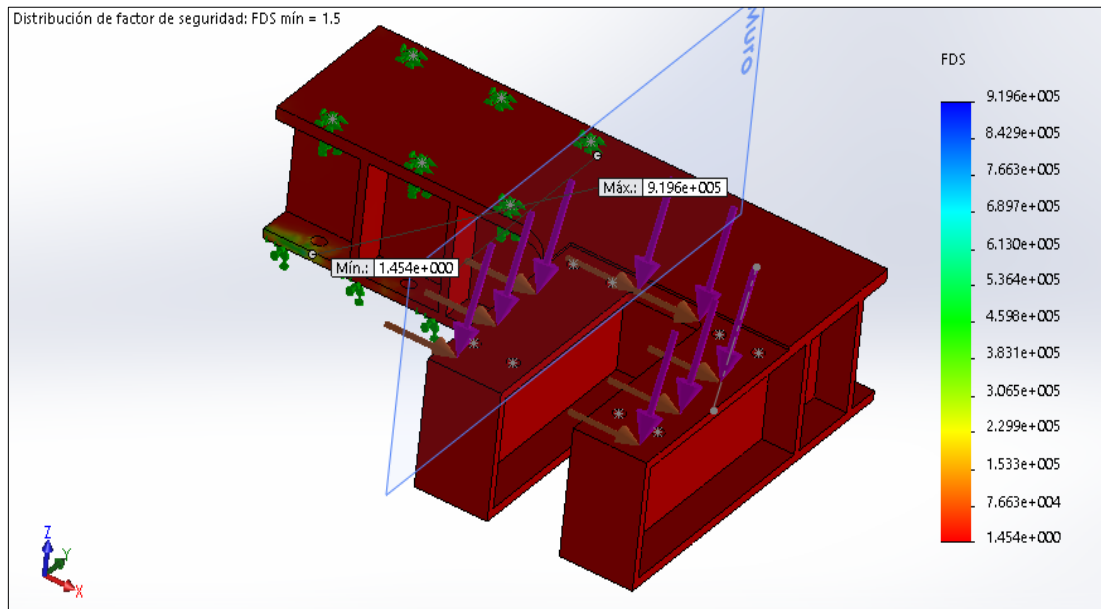


Figura 5.36. Gráfica de la distribución del factor de seguridad, soporte de cilindros hidráulicos.

### 1.56.5. Resultados del análisis del soporte de cilindros hidráulicos

La tabla 5.3 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el análisis por elementos finitos para el caso de carga Excepcional, se puede decir que los resultados de esfuerzos son menores a los admisibles.

El factor de seguridad es conservador, siendo un factor de seguridad mínimo de 1.5 es conservador para estos tipos de estructuras.

	Admisible	Calculado	
Esfuerzo Von Mises	307 MPa	237 MPa	Cumple
Deformación	L/300 = 2mm	1.59 mm	Cumple
Factor de Seguridad	1.5	1.5 mínimo	Cumple

Tabla 5.14. Base de Cilindros resultados esfuerzos, deformación y factor de seguridad.

### 1.57. Datos de selección del cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico tiene que tener las siguientes características:

Tipo	Doble Efecto
Fuerza de Izaje por Cilindro	$F_i = 103 \text{ kN}$
Carrera de trabajo	$C_t = 2410 \text{ mm}$
Diámetro de vástago	$D_v = 80 \text{ mm}$
Área Anular	$A_a = 0.007 \text{ m}^2$
Diámetro del cilindro	$D_c = 125 \text{ mm}$
Área cilindro	$A_c = 0.012 \text{ m}^2$
Presión de Trabajo	$P_t = \text{Fuerza de izaje} / \text{Área anular}$

$$P_t = \frac{F_i}{A_a}$$

..... (21)

$$P_t = \frac{103 \text{ kN}}{0.007 \text{ m}^2} = 24.8 \text{ MPa}$$

$$P_t = 248.3 \text{ bar}$$

Volumen de aceite en el cilindro

$$V_c = C_t * A_c * 1000 = 2.410 \text{ m} * 0.012 \text{ m}^2 * 1000 = 29.5 \text{ Litros}$$

Norma de fabricación	DIN 19703-3
Velocidad de izaje	$V_i = 0.4 - 0.9 \text{ m/min}$
Material de Vástago	AISI 431 (cromo 28 $\mu\text{m}$ )

### 1.58. Pin de izaje

La fuerza que se aplicara en el soporte de izaje es de:

$$F_{ic} = 103 \text{ kN}$$

La fuerza que se aplicara a un ángulo de:

$$\theta F_{ic} = 48.6^\circ$$

En la figura 5.37 indica los valores de esfuerzos admisibles para elementos mecánicos según DIN19704, como se indica el cálculo se realizará con la carga excepcional pero los valores de esfuerzos admisibles serán los indicados para el caso de carga normal.

Type of Stress	Load Case		
	Normal	Occasional	Exceptional
Tension and compression	0.40	0.50	0.80
Shear	0.23	0.29	0.46

Figura 5.37. Coeficientes para esfuerzos admisibles elementos mecánicos [6].

ESFUERZOS ADMISIBLES ELEMENTOS MECÁNICOS			
Material:	AISI 431		
Esfuerzo de fluencia:	$\sigma_y =$	635	MPa
Módulo de elasticidad:	$E =$	210	GPa
<b>Caso de Carga Normal</b>			
Esfuerzo admisible de esfuerzos Combinados	$0.4 \cdot \sigma_y =$	254	MPa
Esfuerzo admisible de cizallamiento:	$0.23 \cdot \sigma_y =$	146	MPa

Tabla 5.15. Esfuerzos admisibles elementos mecánicos.

### 1.58.1. Geometría de pin de izaje

El diámetro del eje de izaje está definido por el diseño del cilindro hidráulico ver plano en el anexo 2.

$\varnothing = 60$  mm (diámetro interior de la rótula del cilindro hidráulico)

$t_1 = 50$  mm (Espesor de plancha)

$b = 100$  mm (Ancho de Rotula, ver anexo 2)

$F = 103$  kN (Fuerza de izaje)

En las siguientes figuras muestra la configuración y dimensiones que tendrá el eje de izaje.

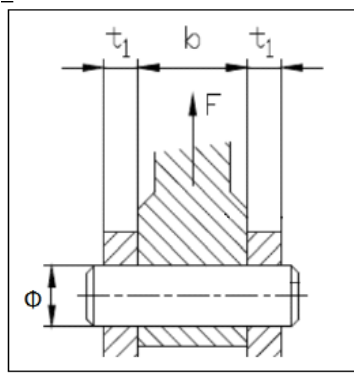


Gráfico referencial

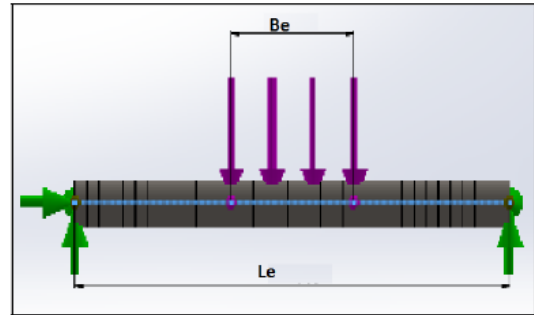


Figura 5.38. Dimensiones de pin de izaje

Propiedades de eje de izaje:

$\varnothing=60$  mm (diámetro interior de la rótula del cilindro hidráulico, ver anexo 2)

Momento de inercia: 
$$I_e = \frac{\pi \cdot (\phi_{iz})^4}{64} = 6.362 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

Área: 
$$A_e = \frac{\pi}{4} \cdot \phi_{iz}^2 = 2.827 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Considerando el caso más desfavorable (existencia de claros) [23] en la figura 5.38 ilustra las fuerzas y reacciones que afectan al eje de izaje.

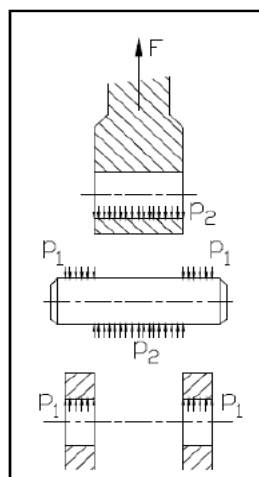


Figura 5.39. Distribución de Fuerzas

### 1.58.2. Diagrama de fuerza cortante y momentos en pin de izaje

La figura 5.39 se muestra que la Fuerza cortante máxima es:

$$V_{cmax} = 51500 \text{ N}$$

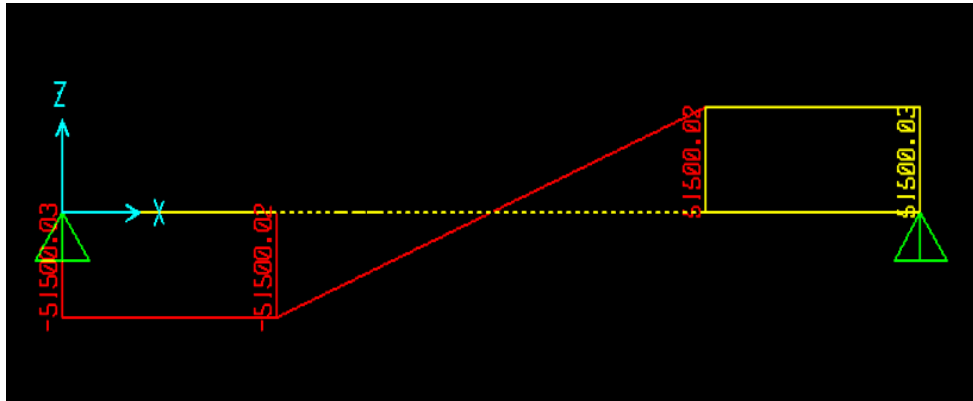


Figura 5.40. Diagrama de fuerzas cortantes pin de izaje.

En la figura 5.40 se muestra que el momento flector total máximo es:

$$M_{max} = 2575001 \text{ N*mm}$$



Figura 5.41. Diagrama de momento flector en el pin de izaje.

### 1.58.3. Resultados del análisis del pin de izaje

Esfuerzo debido al corte:

$$\tau_e = \frac{V_{cmax}}{Ae} \dots\dots\dots (22)$$

$$\tau_e = \frac{51500 \text{ N}}{2.827 * 10^3 \text{ mm}^2} = 18.217 \text{ MPa}$$

Esfuerzo debido a la flexión:

$$\sigma_e = \frac{M_{max} * \frac{\phi}{2}}{I_e} \dots\dots\dots (23)$$

$$\sigma_e = \frac{2575001kN * mm * \frac{60mm}{2}}{6.362 * 10^5 mm^4} = 121.42 MPa$$

Esfuerzo Equivalente (Hydraulic gates and valves, 2nd Edition pág. 121):

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} \dots\dots\dots (24)$$

$$\sigma_{eq} = 125.45 MPa$$

La tabla 5.4 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el análisis para el caso de carga Excepcional, los esfuerzos de Von Mises y de corte son menores a los admisibles, según la norma DIN.

	Admisible	Calculado	
Esfuerzo Von Mises	254 MPa	125.45 MPa	Cumple
Esfuerzo al Corte	146 MPa	18.217 MPa	Cumple

Tabla 5.16. Resultados esfuerzos, deformación y factor de seguridad, soporte de cilindros.

### 1.59. Base y pin de articulación

La base y pin de articulación estará sometida a una fuerza Fa1.

$$Fa1 = \frac{\text{fuerza de en el apoyo maximo}}{\text{Numero de apoyos}} = \frac{302.5kN}{3} = 100.83 kN$$

Se considerará como fuerza de diseño es:

$$Fd = \frac{\text{fuerza de en el apoyo maximo}}{\text{Numero de apoyos} - 1} = \frac{302.5kN}{2} = 151.3 kN$$

La carga se aplicará a un ángulo de:

$$\theta_{ra} = \text{atan} \left( \frac{302.1kN}{28.3kN} \right) * \left( \frac{180}{\pi} \right) = 84.6^\circ$$

### 1.59.1. Material y geometría de la base de articulación

Esfuerzos admisibles es para elementos mecánicos según DIN19704:

TABLA DE ESFUERZOS – CASO DE CARGA NORMAL			
Descripción	Magnitud		Unid.
Material:	ASTM A36		
Esfuerzo de fluencia:	$\sigma_y =$	250	MPa
Módulo de elasticidad:	$E =$	210	GPa
Caso de Carga Normal			
Esfuerzo admisible de esfuerzos. Combinados	$0.4 * \sigma_y =$	100	MPa
Esfuerzo admisible de cizallamiento:	$0.23 * \sigma_y =$	58	MPa

Tabla 5.17. Esfuerzos admisibles base de articulación.

En la figura 5.41 ilustra las dimensiones de la base y el pin de articulación, se procede a elaborar el modelo 3D en el programa SolidWorks.

El material para la base y de el pin de articulación es un acero ASTM A-36





El pin tendrá un contacto sin penetración con la base y una sujeción sobre caras cilíndricas para restringir el desplazamiento axial.

El programa para el desarrollo de cálculo será el SolidWorks, en la figura 5.42, 5.43 y 5.45 ilustra la ubicación de los puntos de sujeción, el número y tipo de entidades se detalle en el cuadro de sujeción.

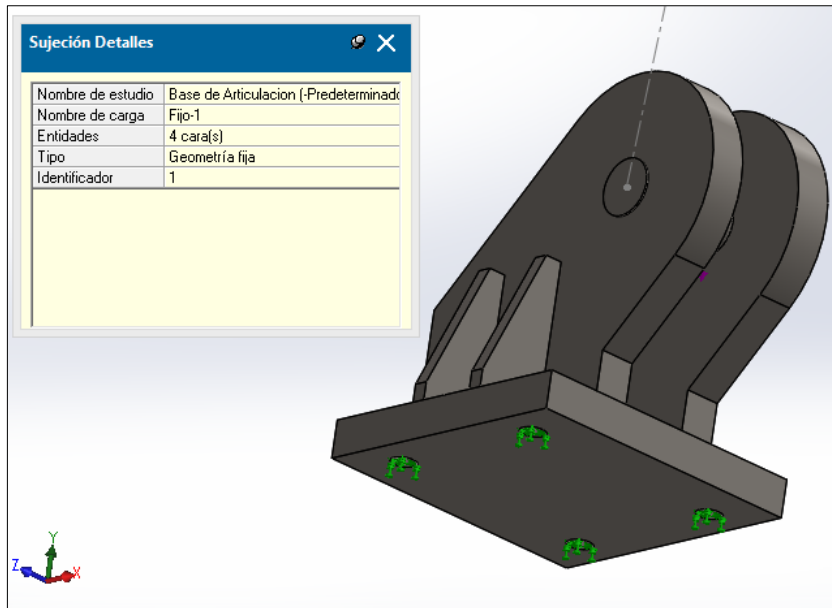


Figura 5.43. Base de articulación sujeción geometría fija.

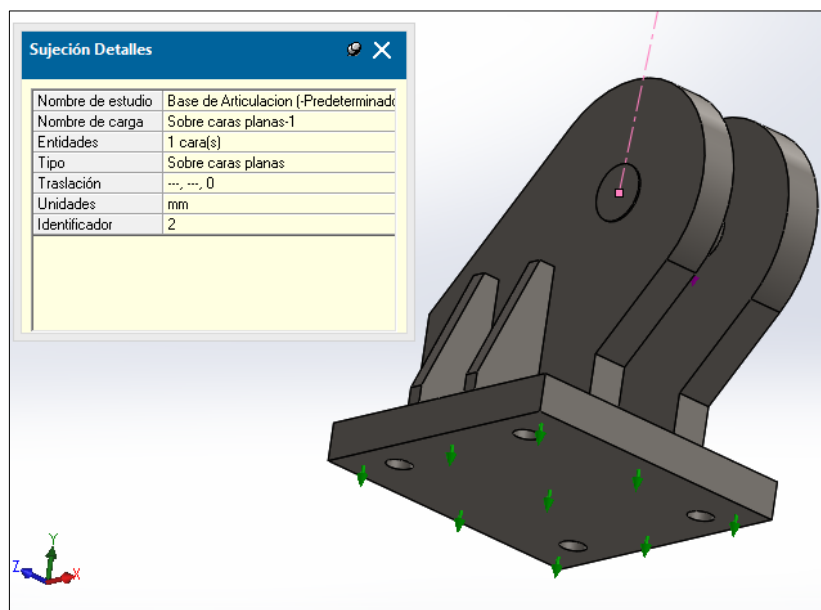


Figura 5.44. Base de articulación sujeción sobre caras planas.

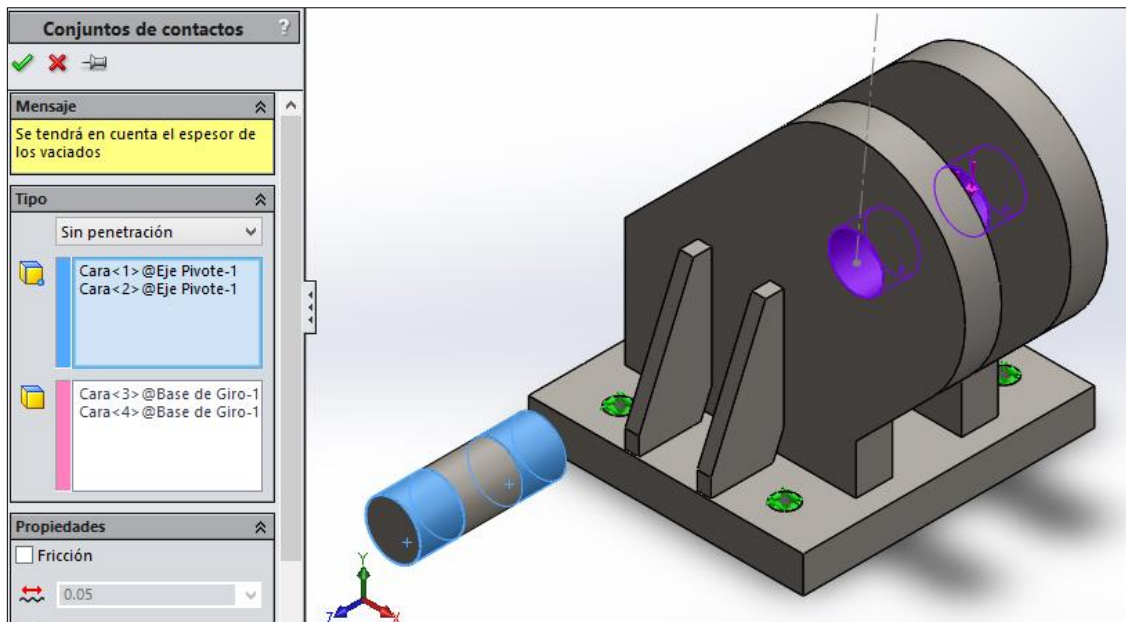


Figura 5.45. Contacto sin penetración entre pin y base de articulación.

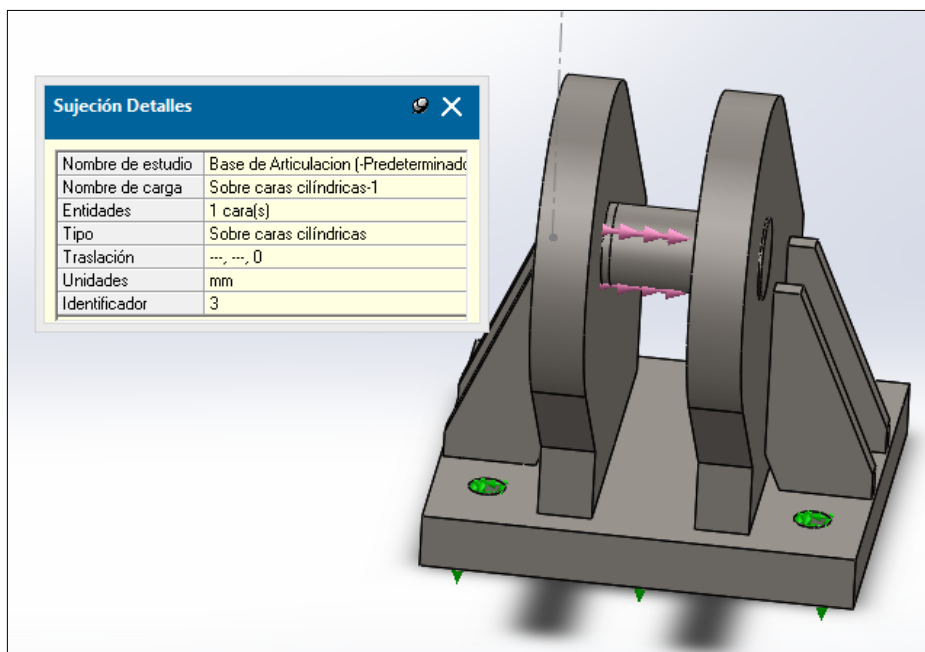


Figura 5.46. Sujeción sobre caras cilíndricas, restringe el desplazamiento axial del pin.

### 1.59.3. Aplicación de las cargas y mallado para el análisis por elementos finitos

En la figura 5.46 ilustra la aplicación de la carga sobre la base y el pin, las magnitudes y las unidades de las cargas se muestran en cuadro de detalles.

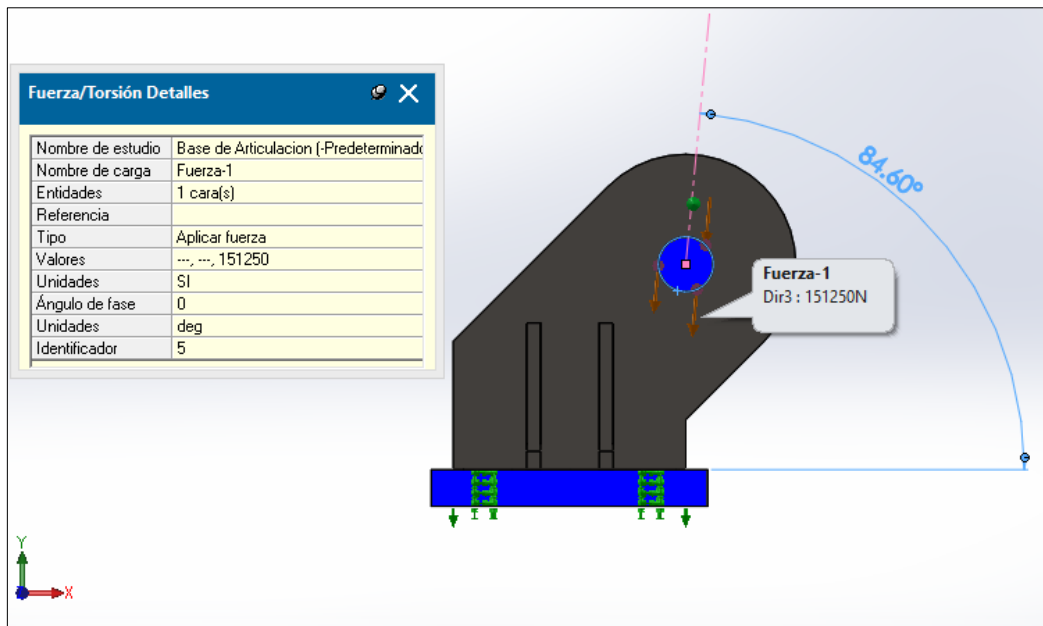


Figura 5.47. Aplicación de la fuerza resultante, compuerta posición cerrada.

En la figura 5.47 se muestra el mallado, los detalles y el tipo de malla se muestran en el cuadro de detalles.

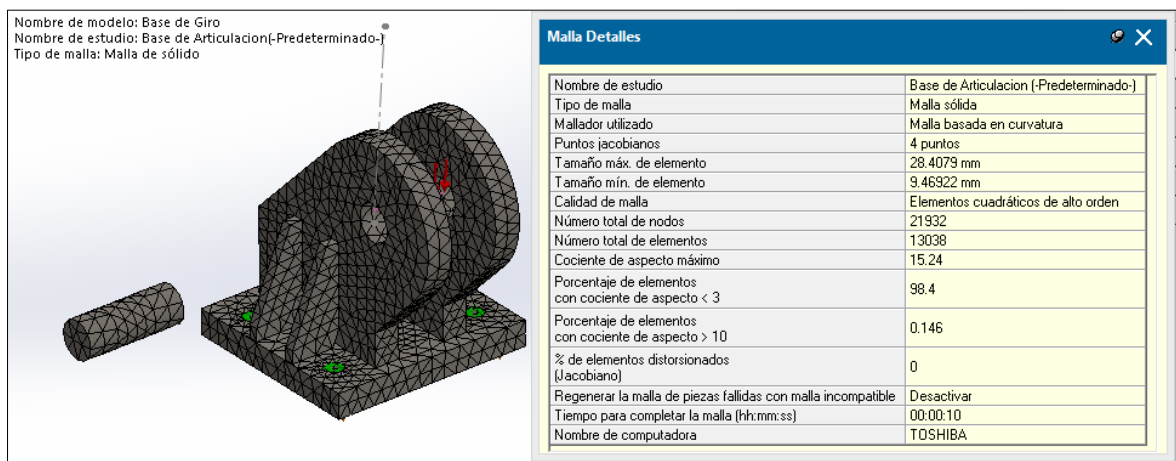


Figura 5.48. Mallado, compuerta posición abierta.

#### 1.59.4. Simulación de base de articulación

En la figura 5.48 ilustra la concentración de esfuerzos de von Mises que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 76 MPa el valor máximo.

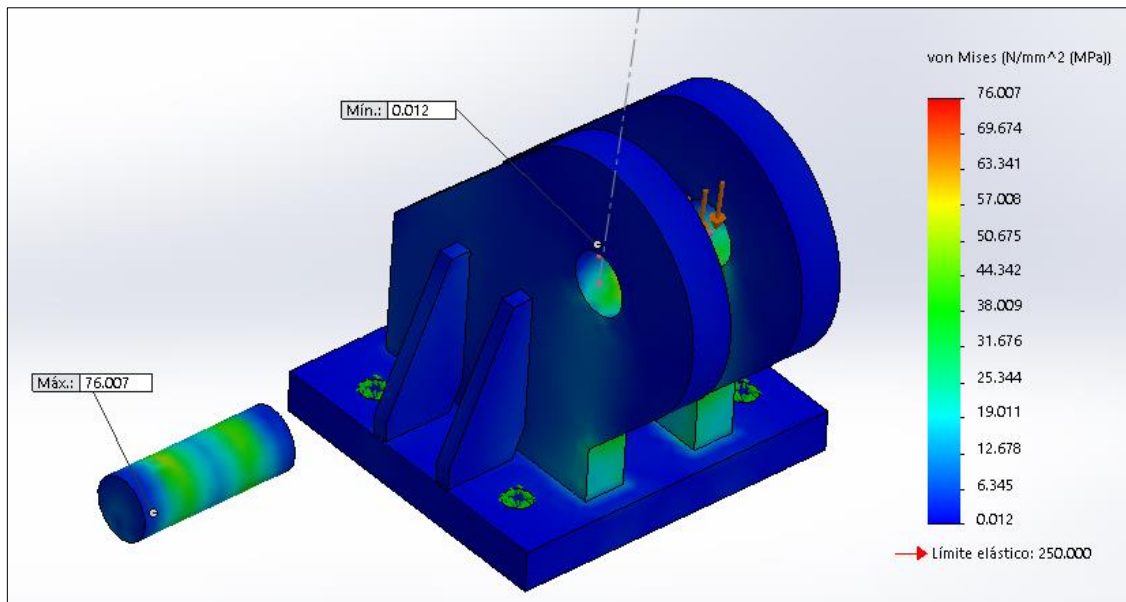


Figura 5.49. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de Von Mises.

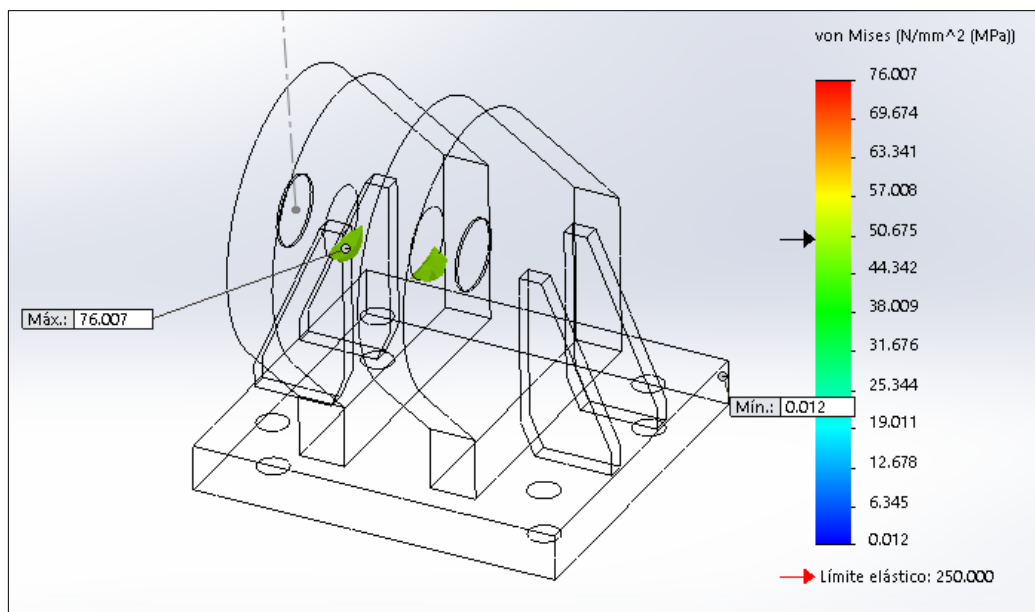


Figura 5.50. Gráfica de la distribución de los esfuerzos de von Mises mayores a 50 MPa.

En la figura 5.35 ilustra el desplazamiento total que sufre la compuerta debido a la presión, siendo 0.16mm, el resultado obtenido es aceptable.

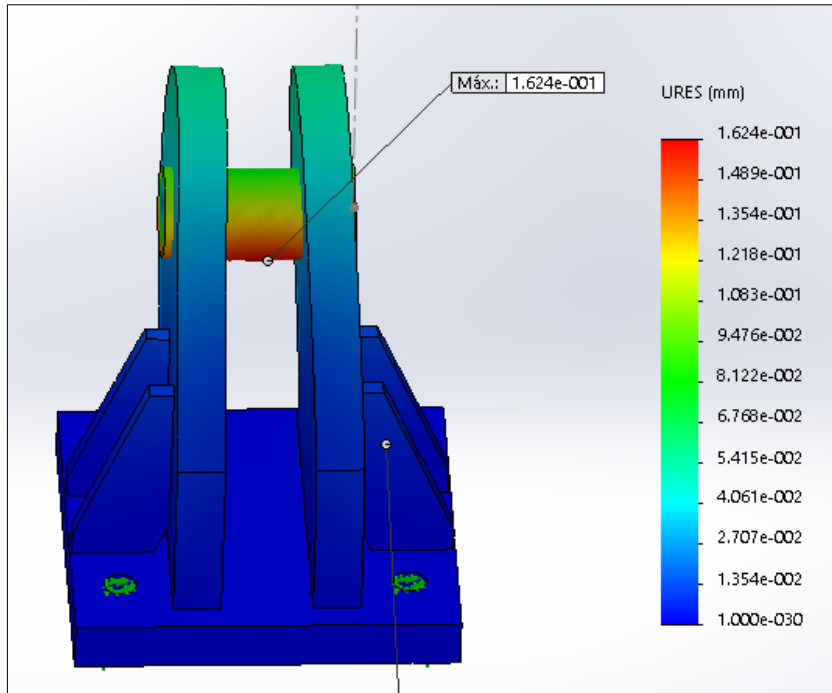


Figura 5.51. Gráfica de deformaciones

En la figura 5.51 ilustra que el factor de seguridad es uniforme en toda la superficie del soporte siendo un valor mínimo de 3.28, el diseño es aceptable.

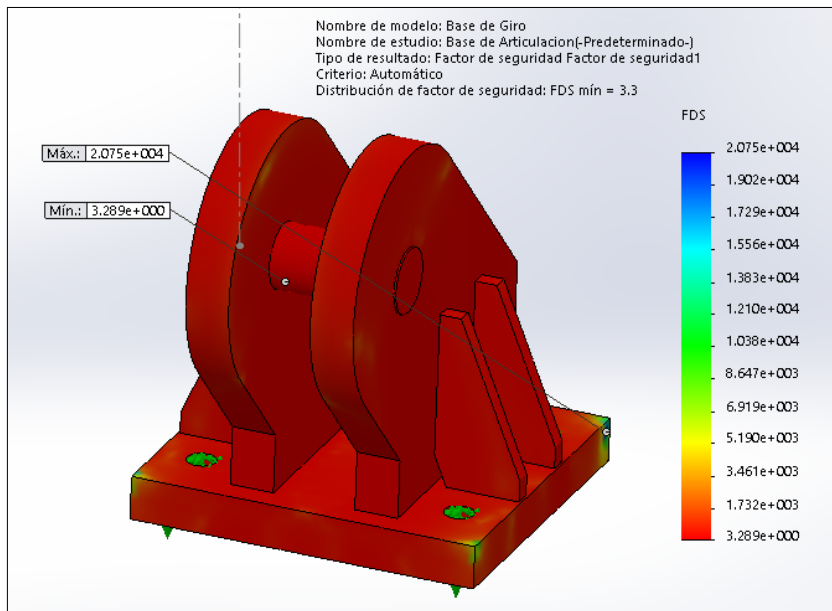


Figura 5.52. Gráfica de la distribución del factor de seguridad.

### 1.59.5. Resultados base de articulación

La tabla 5.5 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el análisis por elementos finitos para el caso de carga Excepcional, los resultados de esfuerzos son menores a los admisibles.

El factor de seguridad es conservador, siendo un factor de seguridad mínimo de 3.3 es conservador para estos tipos de estructuras.

	Admisible	Calculado	
Esfuerzo Von Mises	100 MPa	76 MPa	Cumple
Deformación	L/500 = 0.2mm	0.16 mm	Cumple
Factor de Seguridad	2	3.3 mínimo	Cumple

Tabla 5.18. Resultados esfuerzos, deformación y factor de seguridad, base de articulación.

### 1.60. Dimensionamiento del ducto de aireación

La demanda de aire se calcula usando la siguiente formula como:

$$QA = \alpha Q \dots\dots\dots (25)$$

Donde:

QA = Demanda de Aire

Q = caudal que pasa por encima de compuerta

$\alpha$  = un coeficiente que depende de la altura de caída de la napa, h4, profundidad de la napa, h3, y el número de Froude Fr de la napa.

$$h3 = 0.6 * (h1 - \frac{v1^2}{2g}) \dots\dots\dots (26)$$

$$Q = 21.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Carga sobre el vertedero  $h_1 = 1.56\text{m}$  (figura 4.21)

Longitud de vertedero  $L_v = 6\text{m}$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{21.5\text{m}^3/\text{s}}{1.56\text{m} * 6\text{m}} = 2.29\text{ m/s}$$

Entonces:

$$h_3 = 0.776\text{ m}$$

El número de Froude de la napa es:

$$(\text{Velocidad del desbordamiento})v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{\frac{21.5\text{m}^3}{\text{s}}}{0.776\text{m} * 6\text{m}} = 4.618\text{m/s}$$

$$\boxed{Fr = \frac{v_2}{\sqrt{g * h_3}}} \dots\dots\dots (27)$$

$$Fr = \frac{4.618\text{m/s}}{\sqrt{9.81\text{m/s}^2 * 0.776\text{m}}} = 1.675$$

Según la figura 5.51 “Coeficiente de demanda de aire para una compuerta de desbordamiento”.

El valor de Froude indica que es un flujo subcrítico (lento), el ábaco véase la figura 5.52 no muestra una curva para este valor, así que se tomara el menor valor del coeficiente " $\alpha$ ".



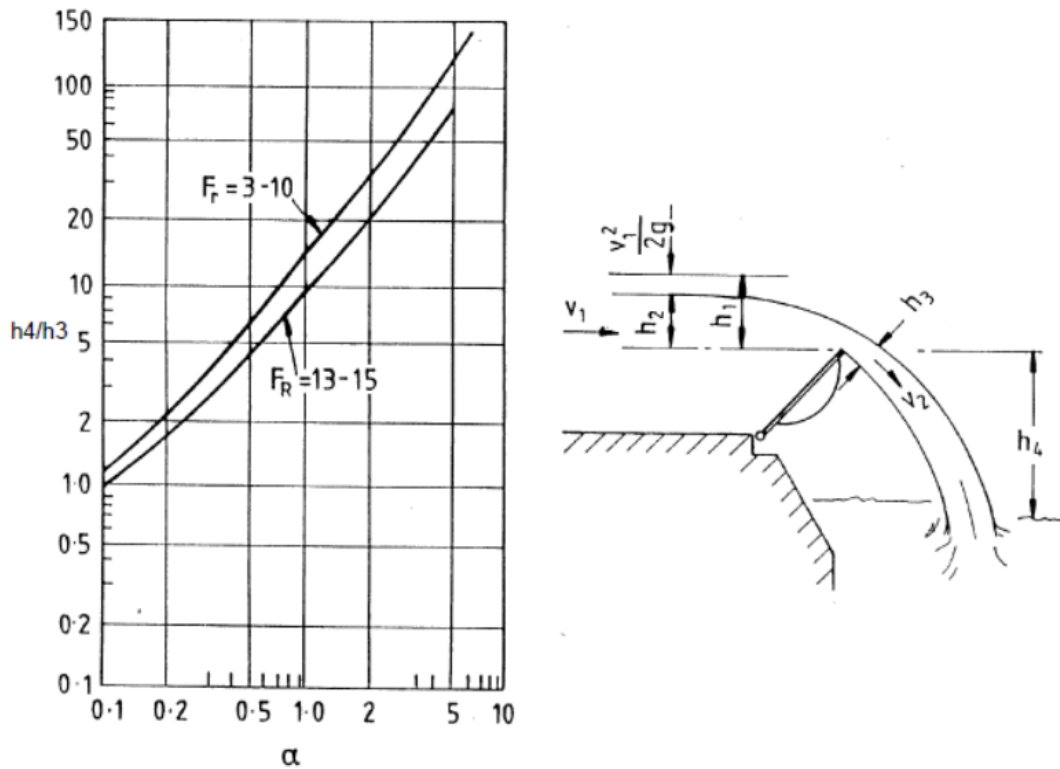


Figura 5.53. Coeficiente de demanda de aire para una compuerta de desbordamiento [7].

El número de Froude calculado es menor al indicado en el ábaco para este caso se toma como valor de "α" el menor valor, el caudal requerido para la compuerta [24]:

$$\alpha = 0.1$$

$$QA = 0.1 * 21.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$QA = 2.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad en los ductos de aireación es:

$V_d = 45 \text{ m/s}$  (velocidad máxima de demanda de aire, Hydraulic gates and valves, 2nd Edition pág. 254).

$S_d$  = sección útil del ducto de aireación

$$S_d = \frac{QA}{V_d} = \frac{2.15/\text{s}}{45\text{m/s}} = 0.047\text{m}^2$$

Los ductos tendrán las siguientes características:

Dimensiones : Tubo Ø6" SCH 40 – A53

Cantidad : 02 unidades

Ubicación : Empotrados en los muros laterales

**CAPÍTULO 6**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Para analizar el análisis de costo del equipo primero se realizó un metrado de los materiales a usarse en la fabricación y se tiene como resultado el peso total de acero a fabricar.

El peso total se multiplicó por el costo de acero fabricado (dólares/kilogramos), que es aproximadamente 4 a 6 dólares para este tipo de equipo.

### 1.61. Análisis de Costo

En la siguiente tabla se muestran los materiales con su respectivo costo por kilogramo.

<b>TABLA DE ANÁLISIS DE COSTO</b>				
PROYECTO:		HER 1		
FRENTE:		CÁMARA DE CARGA		
COMPONENTE:		COMPUERTA CLAPETA		
ITEM	Mat.	DESCRIPCION	Wt. Total (kg)	Precio Total
1.00		SKIN PLATE - 01 UNIDADES		
	A-36	PL. 12 x 3000 x 6000mm	5093.28	\$ 22,920
	A-36	PL. 75 x 1200 x 2400mm	1697.76	\$ 7,640
	A-53	TUBO 20" SCH 30 (ESPESOR 12.7mm) x 6000mm	564	\$ 2,538
			Sub Total	\$ 33,098

2.00		OREJA DE IZAJE - 02 UNIDADES		
	A-36	PL. 38 x 1200 x 2400mm	86.01984	\$ 387
	A-36	PL. 50 x 1200 x 2400mm	113.184	\$ 509
	AISI 431	BARRA Ø60 x 240mm	54.32832	\$ 244
	INOX	PERNO HEX UNC 1/4" X 1"	0	\$ 4
	INOX	ARANDELA DE 1/4"	0	\$ 4
			Sub Total	\$ 1,149
3.00		BASE DE ACCIONAMIENTO - 02 UNIDADES		
	A-572 Gr50	PL. 25 x 1200 x 2400mm	565.92	\$ 3,113
	A-572 Gr50	PL. 19 x 1200 x 2400mm	860.1984	\$ 4,731
	A-325	PERNO HEXAGONAL UNC 1" X 3 1/4"	0	\$ 88
	A-325	TUERCA HEXAGONAL 1"	0	\$ 16
	A-325	ARANDELA PLANA 1"	0	\$ 16
	GR.2	PERNO HEXAGONAL UNC 3/8 X 1"	0	\$ 16
	SAE 1045 - FUNDICION	BLOQUE 162 x 224 x 440	501.9936768	\$ 2,259
	SAE 64	BOCINA EXT. 88 x INT. 63 x 45	0	\$ 4
	INOX	PERNO HEXAGONAL UNC 3/8" X 1"	0	\$ 16
	INOX	ARANDELA PLANA DE 3/8"	0	\$ 16
			Sub Total	\$ 10,275

4.00		GUIAS LATERALES - 02 UNIDADES		
	INOX 304	PL. 8 x 3000 x 6000mm	2263.68	\$ 10,187
	A-36	PL. 6 x 3000 x 6000mm	848.88	\$ 3,820
	A-36	L2" x 2" x 1/4" x 3000mm	160	\$ 720
	A-36	BARRA DE 19 x 30mm	66	\$ 66
	SAE 1020	BARRA ROSACADA DE REGULACION 5/8 x 6000	1.2	\$ 1
	GRADO 2	TUERCA HEXAGONAL 5/8	88	\$ 88
	SAE 1020	BARRA ROSACADA DE REGULACION 5/8 x 6000	1	\$ 1
	GRADO 2	TUERCA HEXAGONAL 5/8	0	\$ 12
	INOX	PERNO SOCKET CABEZA AVELLANADA 1/2 X 2 1/2	0	\$ 12
	INOX	TUERCA HEX 1/2	0	\$ 12
	INOX	ARANDELA PLANA 1/2	0	\$ 40
	INOX	PERNO CABEZA AVELLANADA 3/8" X 2 1/2	0	\$ 44
	INOX	TUERCA 3/8	0	\$ 44
	INOX	ARANDELA 3/8	0	\$ 44
			Sub Total	\$ 15,091
5.00		EMBEBIDOS DE 1RA FASE - 02 UNIDADES		
	A-36	CANAL C4" X 5.4# x 6000mm	144	\$ 648
	A-36	BARRA 1/2" x 6000mm	144	\$ 648

	A-325	TUERCA HEXAGONAL UNC 1 1/4"	0	\$ 24
	A-325	ARANDELA PLANA 1 1/4"	0	\$ 24
			Sub Total	\$ 1,344
6.00		DUCTO DE AIREACION - 02 UNIDADES		
	A-53	TUBERIA DE 8" SCH 40 x 6000mm	756	\$ 3,402
	A-53	CODO 90 RADIO LARGO 4" SCH 40	16	\$ 72
			Sub Total	\$ 3,474
7.00		TRANSPORTE Y MONTAJE		
		Transporte de Obra		\$ 1,576
		Instalación de Compuerta Flap Gate		\$ 15,152
<b>TOTAL, COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 81,157</b>

Tabla 6.1. Costos

La tabla mostrada detalla todos los materiales a emplearse para la fabricación de las piezas que componen a la compuerta, estos materiales están expresados en dimensiones comerciales (planchas, tubos, pernos, etc.). Además, detalle los costos de transporte y montaje que fueron determinados de acuerdo a la ubicación geográfica del proyecto.

Los resultados están expresados en dólares americanos y pueden tener una variación de  $\pm 10\%$ , no se está considerando un costo por contingencia, los datos de los costos fueron extraídos del presupuesto ofertado al cliente en una licitación privada.

## **CONCLUSIONES**

Del análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo de tesis, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se ha obtenido una metodología de diseño aplicable a compuertas de tipo clapeta basado en las recomendaciones de las normas DIN 19704 y NBR 8883 que son aplicables a este tipo de estructuras. Los resultados obtenidos del cálculo del skin plate por el método de elementos finitos reflejan que la compuerta está diseñada para que tenga un buen desempeño, el espesor del skin plate es de 12mm y el análisis arroja resultados favorables y además cumple con las recomendaciones indicadas por la norma DIN 19704 para compuertas ubicadas en esta zona de trabajo.
  
2. Cabe indicar que los resultados obtenidos indican que ningún elemento (skin plate, soporte de cilindros hidráulicos, base y pin de articulación) no llega a su estado de rotura para las condiciones de carga excepcional, los factores aplicables a cada tipo de esfuerzo para el caso de carga excepcional están dentro de los parámetros estipulados en las normas NBR 8883 y DIN 19704 y por lo tanto todos los materiales son adecuados.



3. En el análisis por elementos finitos del soporte de cilindros hidráulicos se consideró que soporta toda la carga (fuerza de izaje total) en caso fallase algunos de los dos cilindros hidráulicos, además una fuerza axial un 10% de la fuerza de izaje, esta fuerza es hipotética ya puede producirse por motivos de desalineamiento entre otras posibilidades, por lo tanto, se afirma que el diseño es aceptable.
  
4. Se concluye que cuando la compuerta tenga función de vertedero aliviadero no sufrirá vibraciones ya que se consideró y se calculó las dimensiones de los ductos de aireación para airear la napa vertiente sobre la compuerta.
  
5. Los planos de fabricación y montaje detallan todo lo necesario para la correcta fabricación, el sistema de proyección y la simbología empleada cumple los parámetros estipulado por la norma ASA.

## **RECOMENDACIONES**

- I. Durante la etapa de diseño siempre se debe considerar las dimensiones para el transporte y montaje.
  
- II. Cuando se instala las guías laterales se debe alinear y verificar la planitud topográficamente y cuando se vacíe el hormigón de debe apuntalar a fin de evitar deformación por efectos de la presión ejercida por el hormigón.
  
- III. Si bien los divisores de flujo de agua permiten que la compuerta esta aireada a presión atmosférica solo es cuando la compuerta tiene una apertura parcial, por eso es importante dejar unos ductos de aireación con la finalidad de evitar vibraciones sobre la compuerta.
  
- IV. Para el diseño de la geometría del skin plate se puede prescindir de la curvatura, un diseño más practico sería una superficie plana, así se logra reducir costo de fabricación.

- V. Para verificar la estanqueidad de los sellos se debe realizar una prueba en seco, empleando unas galgas (feeler) de 0.1 - 0.5 mm se inspecciona en todo el perímetro de la compuerta para verificar que no espacios entre el sello y las guías laterales.
  
- VI. Todos los componentes de la compuerta deben fabricarse con los materiales calculados ya que los esfuerzos de fluencia pueden variar dependiendo del material como por ejemplo un acero A36 (250 MPa) al acero A572 Gr50 (345 MPa).

## **NDICE DE ANEXOS**

Anexo I	Planos de Montaje y fabricación
Anexo II	Plano Cilindro hidráulico
Anexo III	Esquema hidráulico
Anexo IV	Control dimensional y procedimientos
Anexo V	Procedimiento de pintura
Anexo VI	Fotos de Montaje

## **GLOSARIO**

**AutoCAD.** - es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.

**Bypass.** - se refiere en general a una derivación, desvío o cortar una ruta.

**Compresión.**- es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo.

**Compuerta.** - Una compuerta hidráulica es un dispositivo hidráulico-mecánico destinado a regular el pasaje de agua u otro fluido en una tubería, en un canal, presas, esclusas, obras de derivación u otra estructura hidráulica.

**Hidráulica.** - es la rama de la física que estudia el comportamiento de los líquidos en función de sus propiedades específicas.

**Rejas.** - estructura metálica ubicado en un canal que evita el pase de cuerpos de mayor tamaño.

**SolidWorks.** - es un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp.

**Sello.** - es un dispositivo que permite unir sistemas o mecanismos, evitando la fuga de fluidos, conteniendo la presión, o no permitiendo el ingreso de fluido.

**Tensión.** - estado de un cuerpo sometido a un sistema de fuerzas y momentos de fuerza, se expresa en unidades de presión.

**Torsión.** - En ingeniería, torsión es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas.

**Vertedero.** - llamado también aliviadero, es el nombre de una estructura hidráulica cuya finalidad es la de permitir que pase el agua a los escurrimientos superficiales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1]. EDEGEL. Estudio de Pre Operatividad para la Interconexión de la MCH HER 1 al SEIN. Vol 2. 2016; p.19-2.
  
- [2]. OSINERGMIN. Supervisión de Inversión en Electricidad. 2017. [actualizado 18 mar 2018; citado 3 de nov 2018] Disponible en:  
[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/3.3.22.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/3.3.22.pdf)
  
- [3]. Radhuber Consulting. Flap gate. 2005. [actualizado 15 nov 2015; citado 3 de nov 2018] Disponible en:  
[https://www.radhuber.com/estwb\\_gisse.htm](https://www.radhuber.com/estwb_gisse.htm)
  
- [4]. Reynaldo VU. Centrales Hidroeléctricas. Lima. Editorial Universitaria EDUNI; 2010.
  
- [5]. División de Supervisión de Electricidad. Supervisión de Inversión en Electricidad; octubre 2015.
  
- [6]. Paulo E.C.F. Design of hydraulic Gates. 2da edition. Leiden: CRC Press; 2014.

- [7]. Jack L. & Thomas TL. Hydraulic Gates and Valves. 2da edition. Londres. THOMAS TELFORD; 2001.
- [8]. Pulpitel L. Some experiences with curing flap gate vibration, 19th I.A.H.R. Congress, Karlsruhe, paper C12; 1979. p.59.
- [9]. Kalinske F, Robertson R A. Closed conduit flow: Symposium on entrainment of air in flowing water, A.S.C.E., Transactions, paper 2205; 1943.
- [10]. Cengel YA, Cimbala JM. Mecánica de Fluidos, fundamentos y aplicaciones. 1ra edición: McGraw-Hill Interamericana; 2006.
- [11]. Carlos P. Teorías de falla bajo cargas estáticas [Internet]. 2018. [actualizada ene 2010; citado 3 de nov 2018];1-5. Disponible en:  
<http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf>
- [12]. Dassault Systèmes. Criterio de máxima tensión de von Mises. 1995-2018. [citado 3 de nov 2018] Disponible en:  
[http://help.solidworks.com/2010/spanish/solidworks/cworks/legacyhelp/simulation/checking\\_stresses/prot\\_vonm.html](http://help.solidworks.com/2010/spanish/solidworks/cworks/legacyhelp/simulation/checking_stresses/prot_vonm.html)
- [13]. Anthony M. Multi-faceted Challenges at Matala Dam for SNC-Lavalin Inc. Canada; 2016. [citado 3 de nov 2018] Disponible en:  
<https://www.hydroworld.com/articles/print/volume-24/issue-2/features/multi-faceted-challenges-at-matala-dam.html>

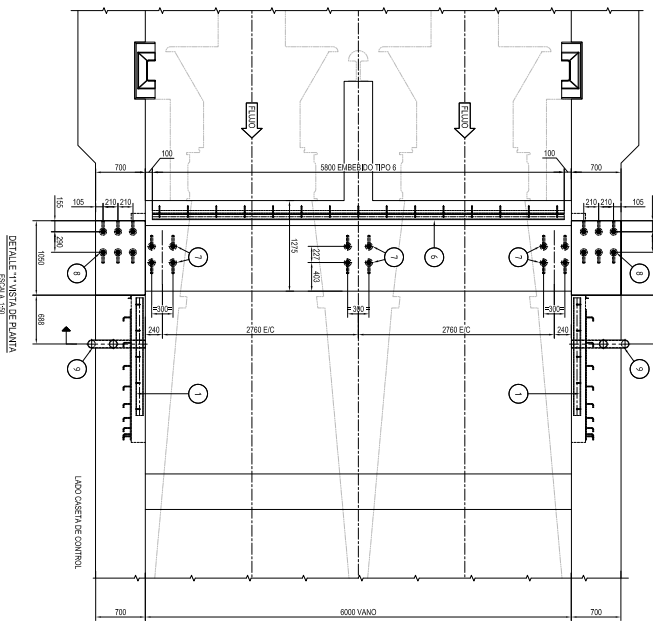
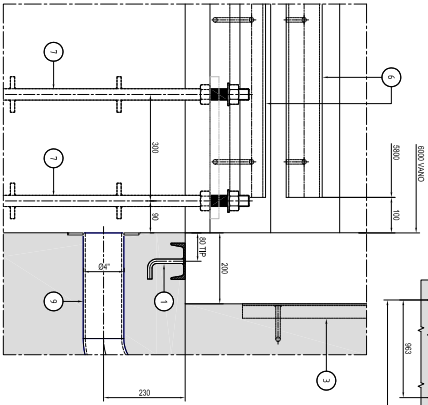
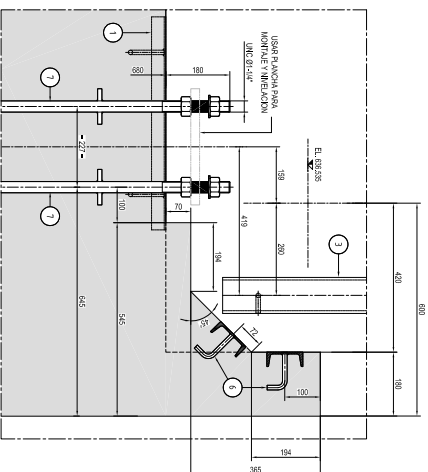
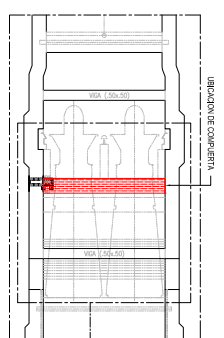
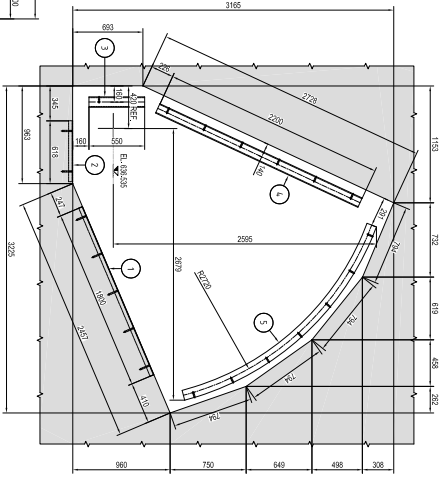
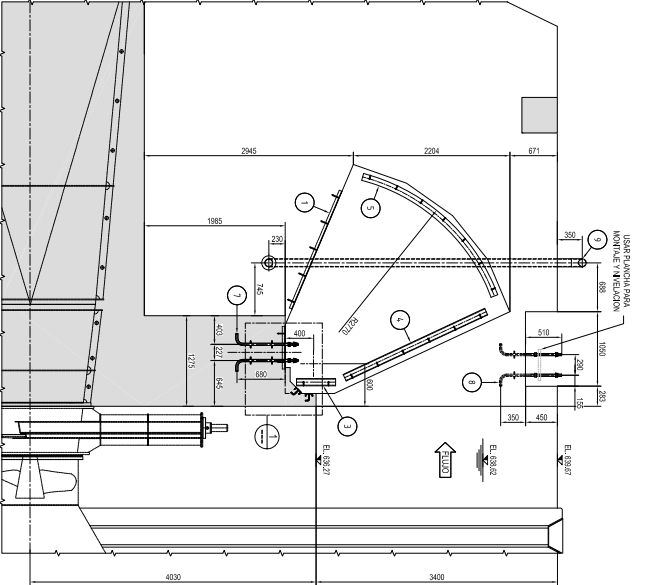
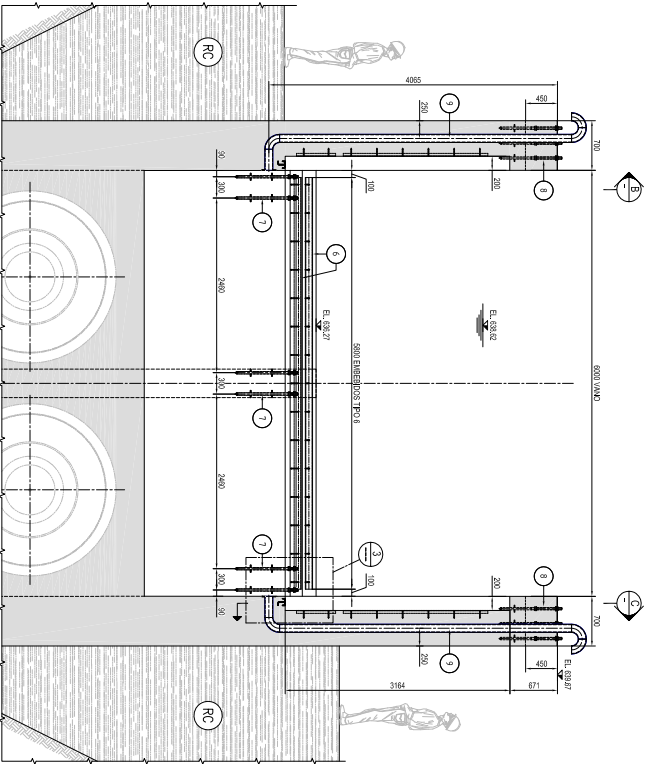


- [14]. Jhon CC. Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos ambientales [Tesis para optar el grado de ingeniero Civil]. Piura: Universidad de Piura. 2015.
- [15]. David MO. Análisis, Simulación y Evaluación de los Esfuerzos y Deformaciones, entre el Método Analítico y el Método de Elementos Finitos, de una compuerta tipo vagón para desagüe de fondo [Tesis para optar el grado de ingeniero Mecánico]. Guayaquil. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2015.
- [16]. José VR. Metodología para el control de riesgos en compuertas radiales de descarga de fondo para grandes presas [Tesis para optar el grado de ingeniero Mecánico]. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 2013.
- [17]. Arturo RF. Hidráulica de tuberías y canales. 1ra edición. Lima. Editorial Universitaria EDUNI. 2007.p. 490-455.
- [18]. NBR 8883, (1996) Calculation of Hydraulic Gates. Rio de Janeiro: ABNT
- [19]. DIN19704, (1998) Hydraulic Steel Structures. Criterio for Desing and Calculation.
- [20]. ASTM A36 - Standard Specification for - Carbon Structural Steel
- [21]. Gilberto NC. Análisis por método de elementos de compuerta para cierre de ductos en central hidroeléctrica [Tesis para optar el grado de ingeniero Mecánico]. Sartenejas. Universidad Simón Bolívar. 2007.
- [22]. ASTM A572 Gr50 - Standard Specification for - Carbon Structural Steel

- [23]. Richard GB, Keith N. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Octava edición: McGraw-Hill Interamericana. 2008.
- [24]. Lewin J. Vibration of hydraulic gates, Journ. I.W.E.S.; 1983. 37, 165-182.
- [25]. Coz SF. MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRÁULICAS, Intermediate Technology Development (ITDG), Lima,1996.

## **Anexo I Planos de Montaje y fabricación**





ITEM	CANT.	DESCRIPCION/DESCRIPCION	UNID.	TOTAL	MATERIAL	OSERV.
1	102	TUBERIA DE ANCLAJE 4"	48	48	A-53	15E1 UNF CA.28007
2	72	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 8	72	72	A-400	15E1 UNF CA.28007
3	30	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 7	30	30	A-38	15E1 UNF CA.28007
4	30	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 6	30	30	A-38	15E1 UNF CA.28007
5	24	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 5	24	24	A-38	15E1 UNF CA.28007
6	24	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 4	24	24	A-38	15E1 UNF CA.28007
7	24	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 3	24	24	A-38	15E1 UNF CA.28007
8	24	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 2	24	24	A-38	15E1 UNF CA.28007
9	15	FERRIBORDE REJA PASE TIPO 1	15	15	A-38	15E1 UNF CA.28007
10	30	TOTAL	30	30		

LISTA DE MATERIALES

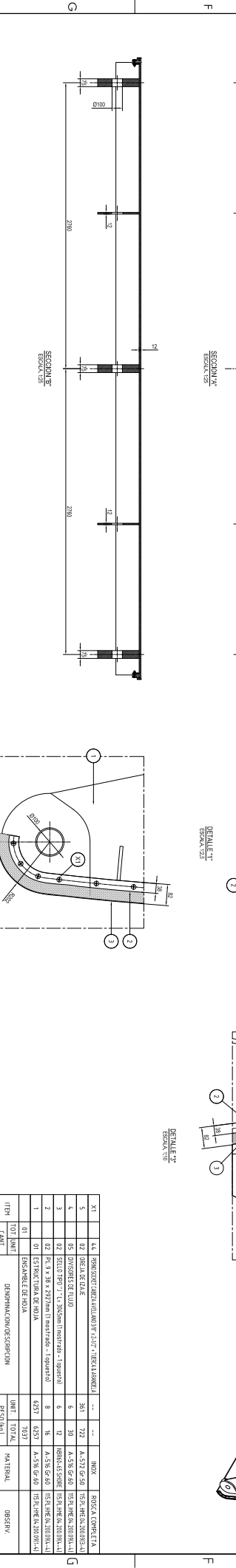
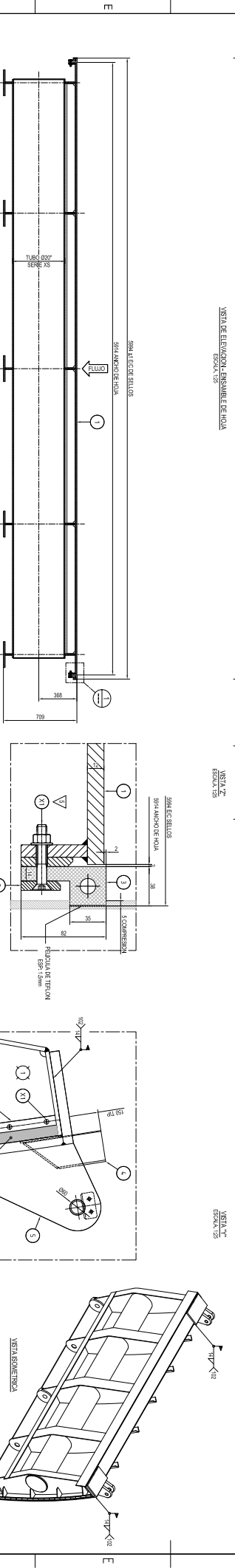
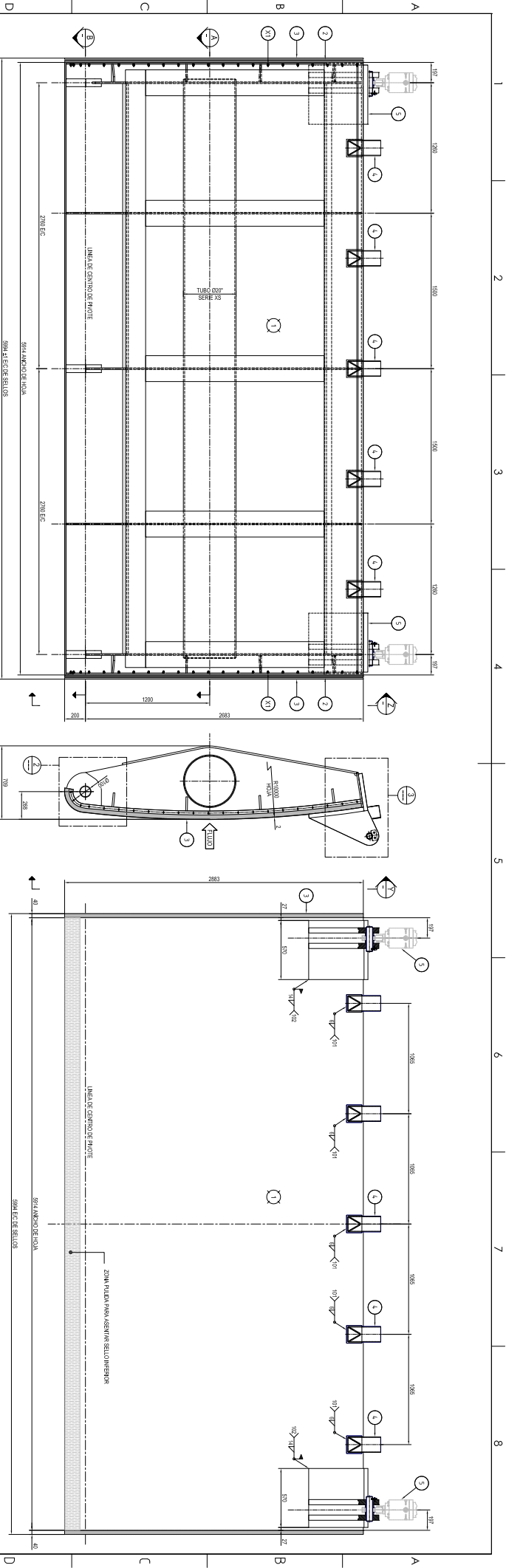
Nombre	Jose O.	Fecha	15/06/2018
Revisado	Jose O.	Revisado	15/06/2018
Aprobado	HERI HUAMPANI	Escala	SE
Proyecto	COMPUERTA FLAP GATE 6 x 2.35m	Titulo	COMPUERTA FLAP GATE 6 x 2.35m
Codigo	T01.HME.200.01.02	Revision	00
Formo	A3		



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DEL PERU

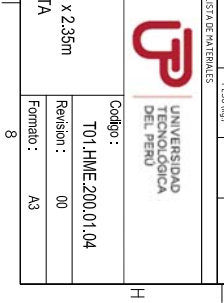
LEYENDA  
CONCRETO IRA FASE





LISTA DE MATERIALES		UNIDAD		MATERIAL		OBSERV.	
ITEM	CANT.	DESCRIPCION	RESUMIDA	TOTAL	MATERIAL	RESUMIDA	OBSERV.
X1	14.4	FRANQUEO DE ALUMINIO 70x100x1.5mm (perfilado)	361	---	NOVA	FRANQUEO DE ALUMINIO 70x100x1.5mm (perfilado)	---
5	02	ORBEAL DE PULC	122	---	A-536 Gr.60	105 PA. LINEA 200 (90x14)	---
10	05	DIVISOR DE TUBO	30	---	A-536 Gr.60	105 PA. LINEA 200 (90x14)	---
4	02	SEILO TPO 7" x 1.5mm (Inchestrado + Igualado)	6	---	888x4.5x308	105 PA. LINEA 200 (90x14)	---
3	02	SEILO TPO 7" x 1.5mm (Inchestrado + Igualado)	8	---	A-536 Gr.60	105 PA. LINEA 200 (90x14)	---
2	02	PA. 9" x 38" x 207mm (Inchestrado + Igualado)	16	---	A-536 Gr.60	105 PA. LINEA 200 (90x14)	---
1	01	ESTRUCTURAL DE HOJA	4257	---	A-536 Gr.60	105 PA. LINEA 200 (90x14)	---
01	01	ENSAMBLE DE HOJA	7037	---	---	---	---
TOTL	UNIF.	DINAMICA CON DESCRIPCION	UNIF.	TOTAL	MATERIAL	RESUMIDA	OBSERV.

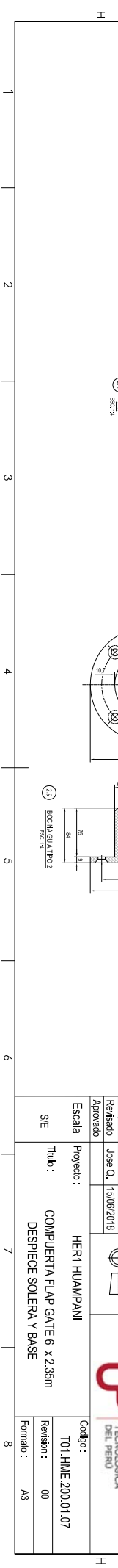
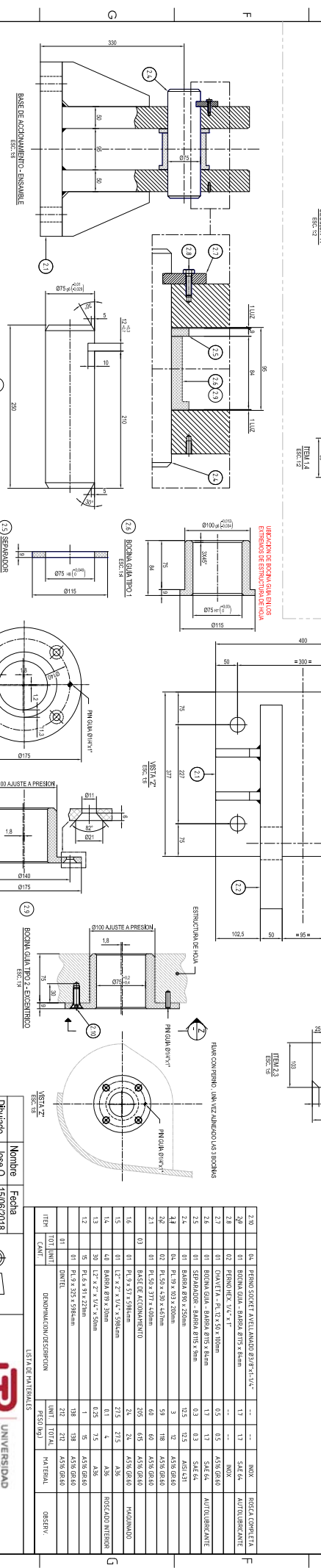
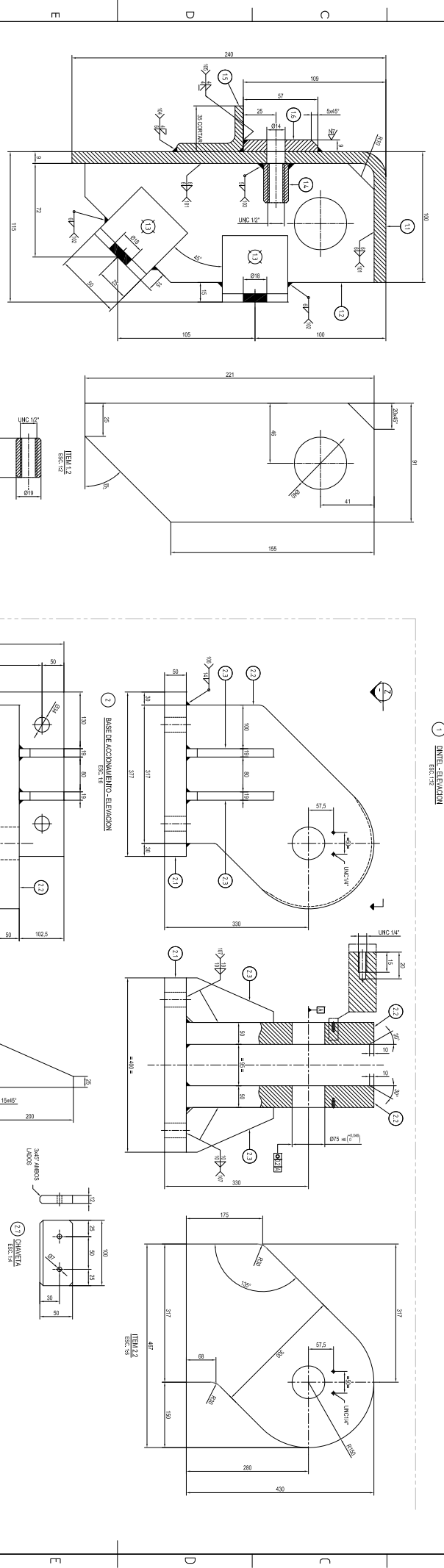
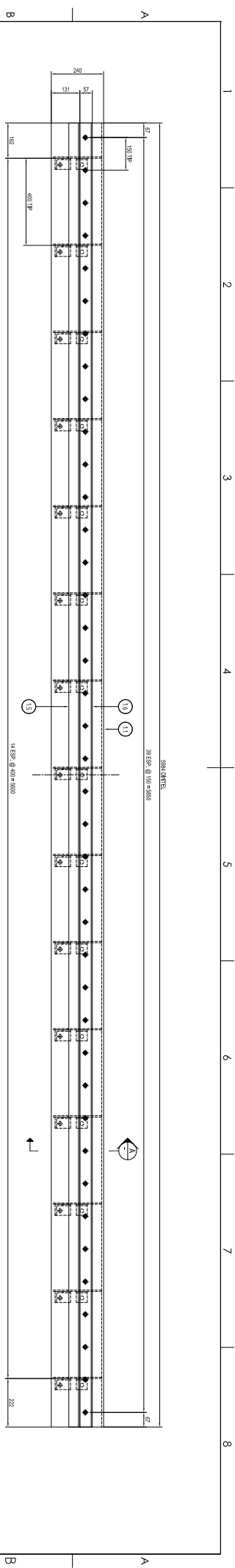
Nombre	Jose O. 15106/2018	Fecha	15/06/2018
Dibujado	Jose O. 15106/2018	Revisado	Jose O. 15106/2018
Escala	HER1 HUAMPANI	Proyecto	COMPUERTA FLAP GATE 6 x 2.35m
Titulo	S/E	Escala	T01.HME.200.01.04
Revisión	00	Formato	A3











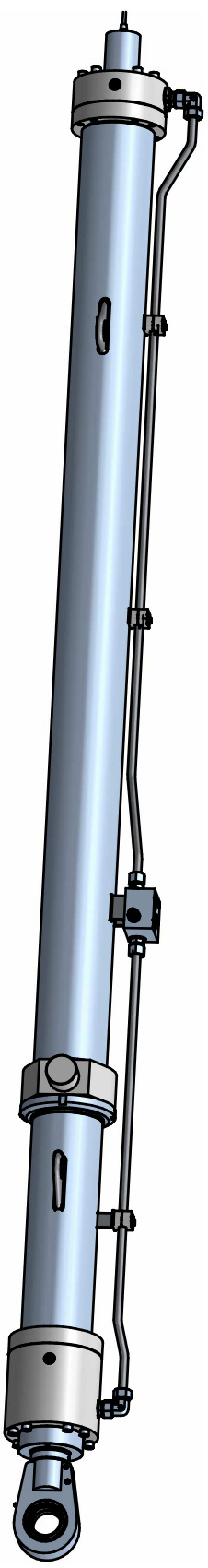
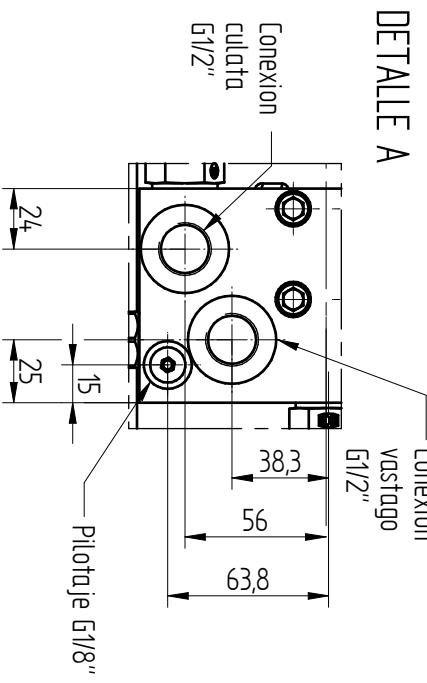
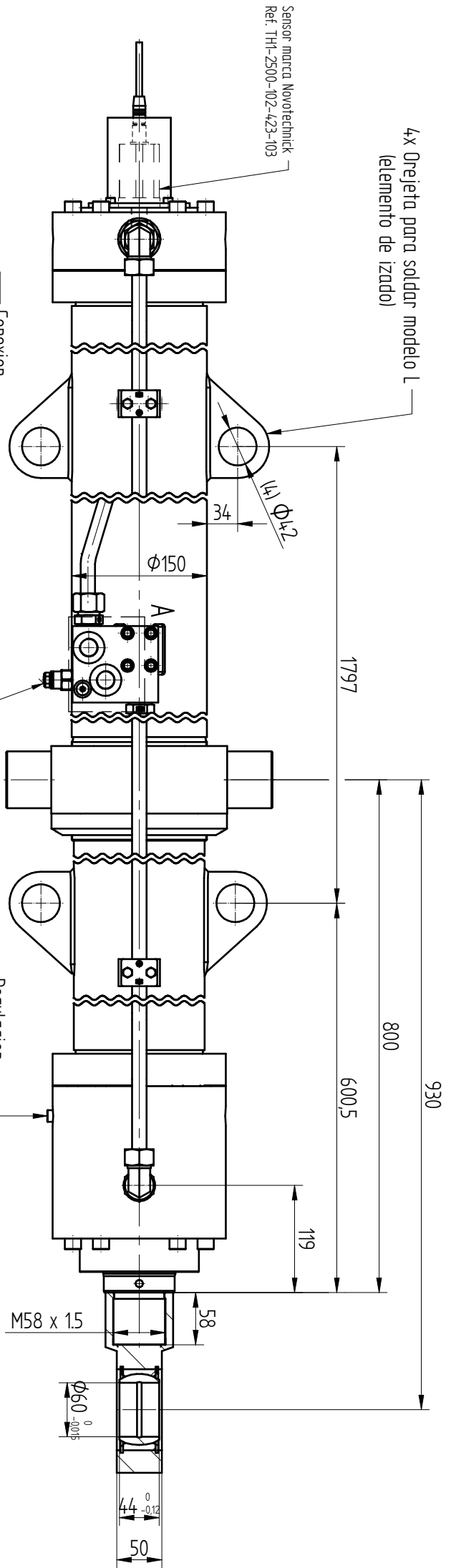
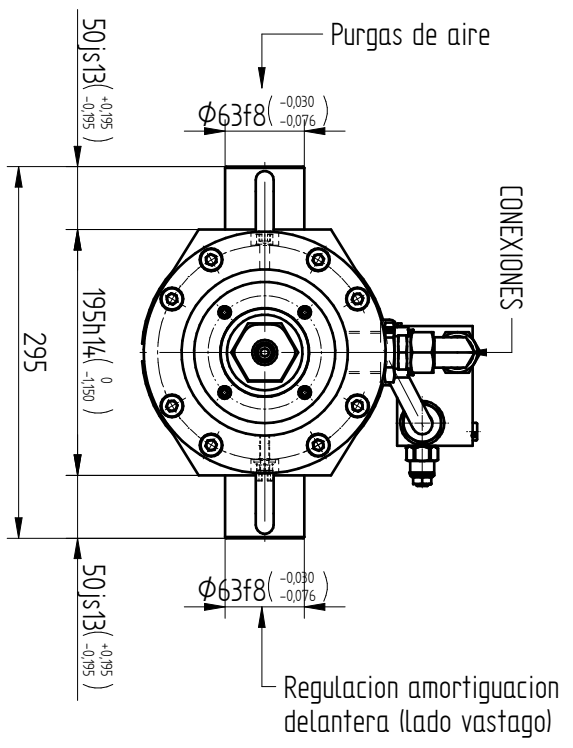
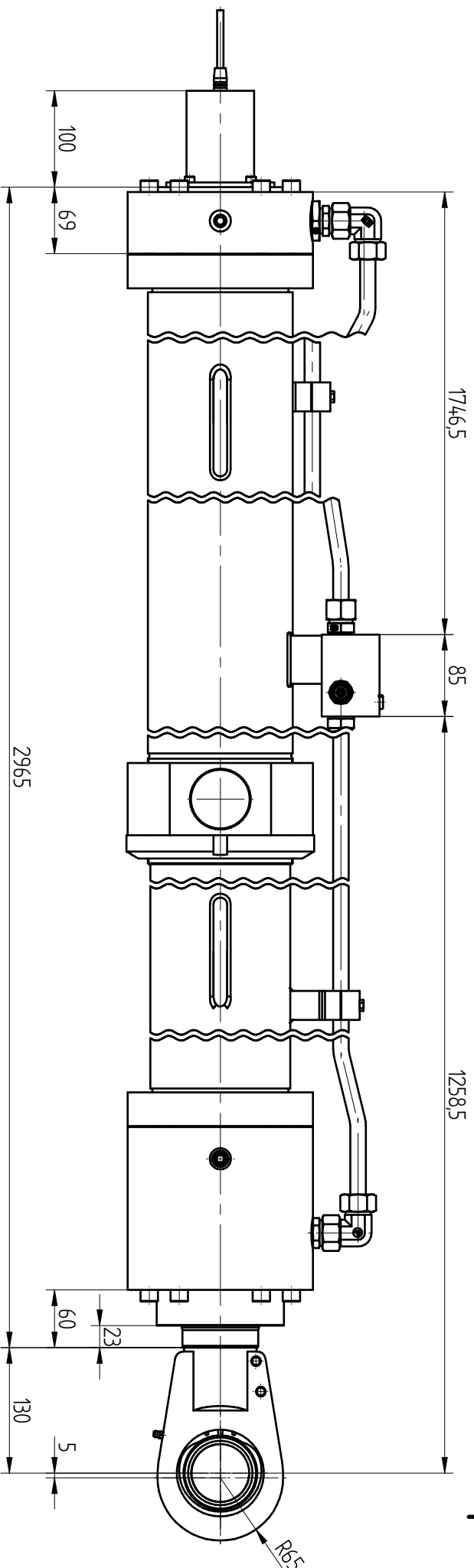
ITEM	CANT.	DESCRIPCION/DESIGNACION	UNIDAD	TOTAL	OBSERV.
01	01	DUNELE	UNID.	01	
02	01	BASE DE ACOMODAMIENTO	UNID.	01	
03	01	IMPACTANTE ROLLO GUIA SOLAS	UNID.	01	
04	01	SEPARADOR	UNID.	01	
05	01	ROLLO GUIA TIPO 1	UNID.	01	
06	01	ROLLO GUIA TIPO 2 - EXCENTRICO	UNID.	01	
07	01	FLAP CON PUNTO UN VIZ ALVADO LAS BOCINAS	UNID.	01	
08	01	CHAVETA	UNID.	01	
09	01	PERNO SOCKET AVILUADO 20*14*14	UNID.	01	
10	01	PERNO GUIA - BARRA PTYS x 8mm	UNID.	01	
11	01	CHAVETA - V.V. x 1"	UNID.	01	
12	01	CHAVETA - PL. 12.50 x 100mm	UNID.	01	
13	01	BOCINA GUIA - BARRA PTYS x 8mm	UNID.	01	
14	01	SEPARADOR - BARRA PTYS x 8mm	UNID.	01	
15	01	BARRA 800 x 250mm	UNID.	01	
16	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
17	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
18	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
19	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
20	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
21	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
22	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
23	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
24	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
25	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
26	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
27	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
28	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
29	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
30	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
31	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
32	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
33	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
34	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
35	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
36	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
37	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
38	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
39	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
40	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
41	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
42	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
43	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
44	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
45	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
46	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
47	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
48	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
49	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
50	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
51	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
52	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
53	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
54	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
55	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
56	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
57	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
58	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
59	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
60	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
61	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
62	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
63	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
64	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
65	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
66	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
67	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
68	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
69	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
70	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
71	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
72	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
73	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
74	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
75	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
76	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
77	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
78	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
79	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
80	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
81	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
82	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
83	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
84	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
85	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
86	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
87	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
88	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
89	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
90	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
91	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
92	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
93	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
94	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
95	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
96	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
97	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
98	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
99	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	
100	01	PL. 500 x 250 x 25mm	UNID.	01	

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERU**  
 LSTA DE IN TENDULS  
 Nombre: **HERI HUAMPANI**  
 Fecha: **15/06/2018**  
 Dibujo: **Jose O. 15/06/2018**  
 Revisado: **Jose O. 15/06/2018**  
 Aprobado: **Jose O. 15/06/2018**  
 Escala: **HERI HUAMPANI**  
 Proyecto: **COMPUERTA FLAP GATE 6 x 2.35m**  
 Título: **DESPIECE SOLERA Y BASE**  
 S/E  
 Código: **T01.HME.200.01.07**  
 Revisión: **00**  
 Formato: **A3**



## **Anexo II Plano Cilindro hidráulico**

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



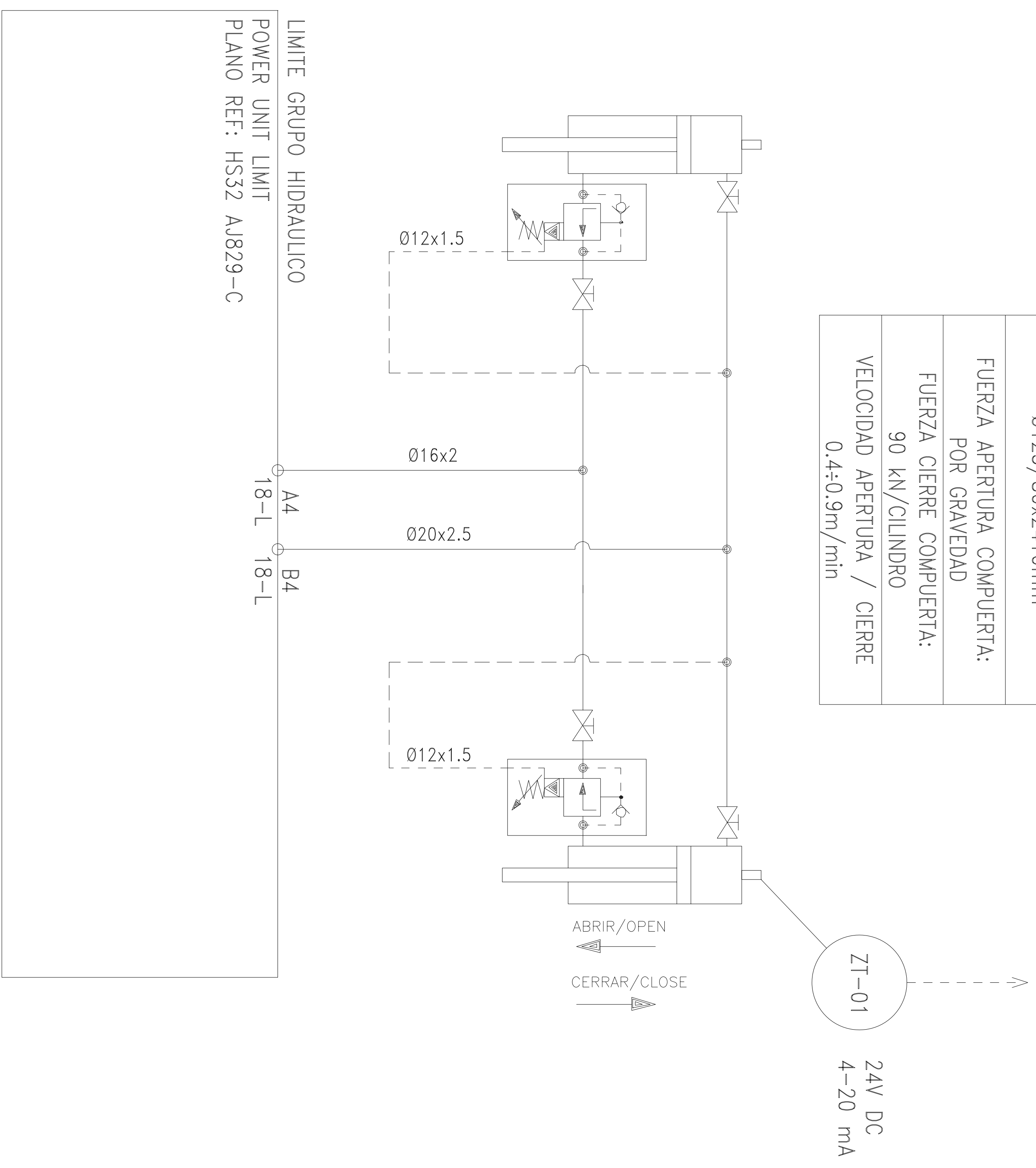
CILINDRO TIPO	
Doble efecto / Amarre tipo MT4	
DIAMETRO INTERIOR CAMISA	125 mm
DIAMETRO VASTAGO	80 mm
LONGITUD CARRERA	2410 mm
PRESSION DISEÑO	160 bar
PRESSION PRUEBA	160 bar
	240 bar
MAXIMA FUERZA EMPUJE	19635 Kg
MAXIMA FUERZA RETROCESO	11592.5 Kg
FUERZA DE TRABAJO CIERRE DEL CILINDRO	90 KN
VELOCIDAD DE CIERRE Y APERTURA	0.4-0.9 m/min
MEDIO HIDRAULICO	Aceite mineral
AMORTIGUACION DELANTERA (lado puntera vastago)	150mm
VASTAGO MATERIAL AISI431	Cromo 28-35µm
RANGO DE TEMPERATURA	-20 / +70 °C
SENSOR SALIDA 4-20mA + Conector M16 de 6 pines + 2m de cable	
Pintura: Imprimacion + capa de acabado (RAL 1018 - Amarillo de zinc)	

Nombre	Fecha	Material:
Dibujado Gaizka	16/05/17	
Comprobado Gaizka	16/05/17	
Aprobado 1 Gaizka	16/05/17	
Aprobado 2		
<b>TOLERANCIAS GENERALES</b> LINEALES Y ANGULARES: ISO 2768-m GEOMETRICAS: ISO 2768-k		
SALVO INDICACION PARTICULAR		TOLERANCIAS ROSCAS: 6H/ 6g
<b>Título</b> SK 125.80.2410-MT4-S_ dimensionado		<b>Plano</b> 9801-D/C
<b>Archivo:</b> SK 125.80.2410-MT4-S_ dimensionado.dff		<b>Escala</b> 1:5
<b>Peso</b> 325Kg		<b>Hoja</b> 1 de 1
<b>Rev</b> 3		<b>Rev</b> 3

## **Anexo III Esquema hidráulico**

Rev.N°	Descripción	Mod por	Rev por	Aprob por	Fecha
0	EMITIDO PARA FABRICACION	J.R.C	J.Q.A	M.P.E	12/05/2017
1	ACTUALIZACION GENERAL	J.R.C	J.Q.A	M.P.E	19/12/2017

COMPUERTA FLAP GATE
CILINDROS Ø125/80x2410mm
FUERZA APERTURA COMPUERTA: POR GRAVEDAD
FUERZA CIERRE COMPUERTA: 90 kN/CILINDRO
VELOCIDAD APERTURA / CIERRE 0.4±0.9m/min



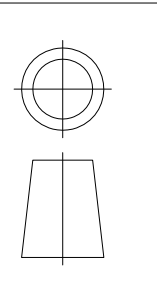
LIMITE GRUPO HIDRAULICO  
POWER UNIT LIMIT  
PLANO REF: HS32 AUB29-C

**EMITIDO PARA FABRICACION**

PLANO DE REFERENCIA  
1. 115.PL.HME.04.200.02 ENSAMBLE GENERAL

Form.: PRY-02	Rev.: 01	Fecha: 01/2015
Dibujado: J.R	J.R	12/05/2017
Revisado: J.Q	J.Q	12/05/2017
Aprobado: M.P	M.P	12/05/2017

PROYECTO: **HER1 HUAMPANI**  
TITULO: **CAMARA DE CARGA**  
**COMPUERTA FLAP GATE 6 x 2.35m**  
DIAGRAMA HIDRAULICO DE ACCIONAMIENTO



Formato: A3	Rev: 1
Peso: Kg	Escala: 1:1
Nº Hoj: 1/5	
Plano N°: 115.PL.HME.04.200.01	

## **Anexo IV Control dimensional y procedimientos**





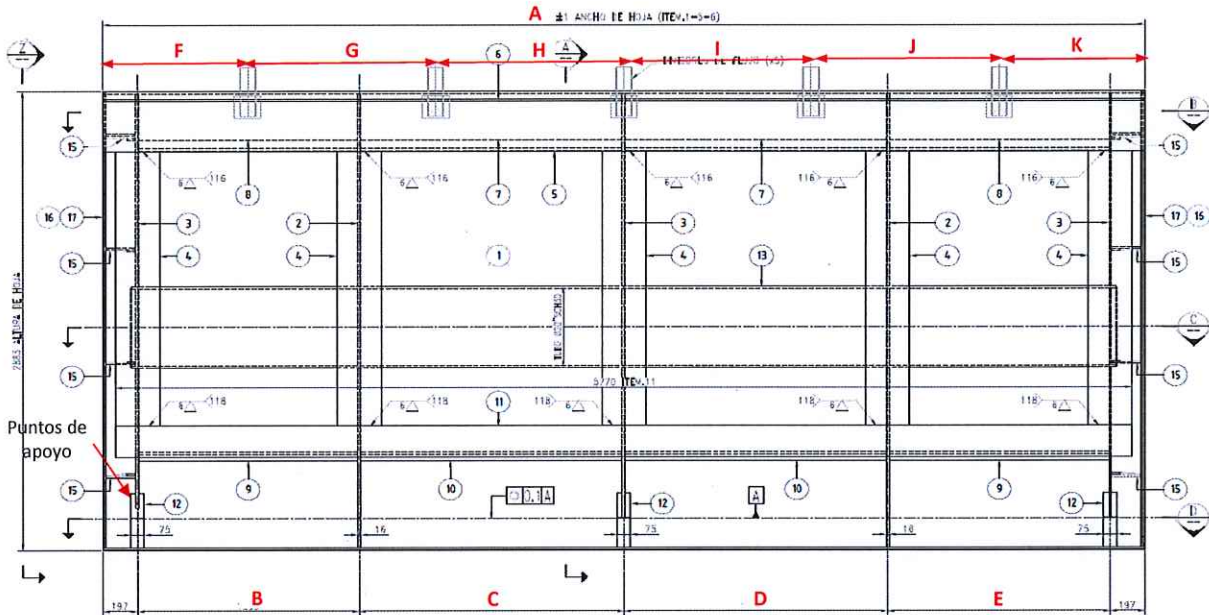
# Control Dimensional

Código	Revisión-Fecha
GCZ-CC-R-025	Rev 2 17-ene-2015

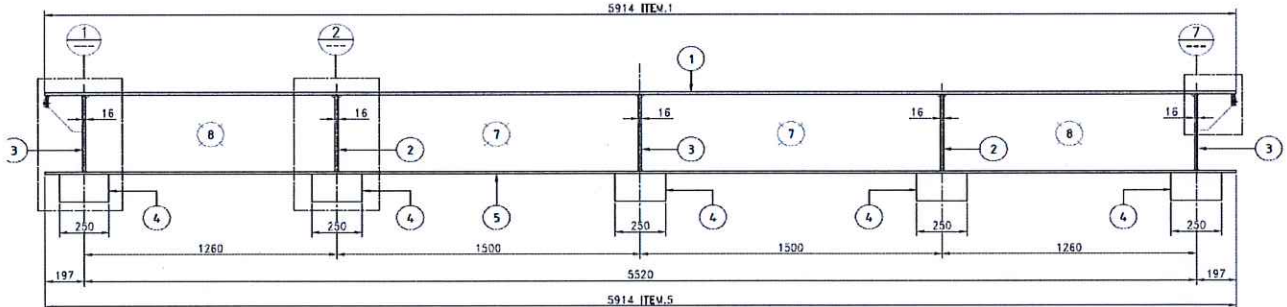


PROYECTO: HER 1 - HUAMPANI	REGISTRO N°: E-005	Página: 1 de 2
FECHA DE INSPECCIÓN: 11 /09/2017	PLANO DE REFERENCIA: 115.PL.HME.04.200.09 Rev.1	
CLIENTE: ENEL GENERACIÓN PERU	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Flexómetro 5 m (W-014-17) y Flexómetro 8m (W-013-17) ; Pie de rey - CPR-0002)	
COMPONENTE EVALUADO: Compuerta Flap Gate 6x2.35m	SITIO DE INSPECCIÓN: PLANTA GCZ - VES	

## Esquema



ESTRUCTURA DE HOJA - ELEVACION  
ESCALA: 1:25



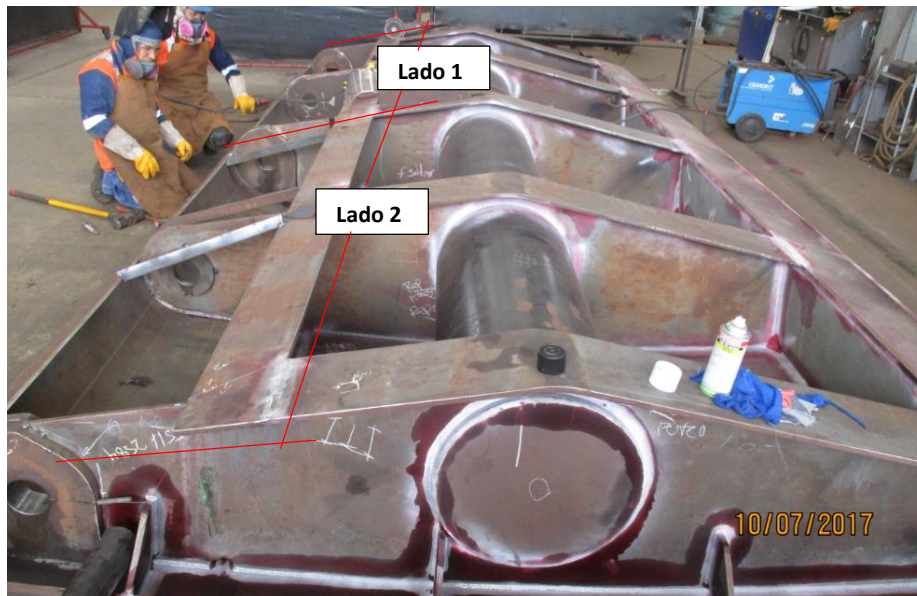
ID	COTA	MEDIDA NOMINAL (mm)	MEDIDA REAL (mm)	VARIACION (mm)	RESULTADO
1	A	5914	5910	-4	Conforme
	B	1260	1260	0	Conforme
	C	1500	1500	0	Conforme
	D	1500	1498	-2	Conforme
	E	1500	1500	0	Conforme
	F	827	828	1	Conforme
	G	1065	1058	-7	Conforme
	H	1065	1068	3	Conforme
	I	1065	1068	3	Conforme
	J	1065	1060	-5	Conforme
	K	827	830	3	Conforme
	L	0 ± 0,5	0,1	0,1	Concentricidad, Conforme

Observaciones: Cotas F, G, I y K se volvieron a replantear. Medidas aceptables  
L: Medida de Concentricidad entre puntos de apoyo.

CALIDAD GCZ	PRODUCCIÓN GCZ	SUPERVISIÓN/CLIENTE
Nombre: <i>R. Palomino</i>	Nombre: <i>Jhojan Lelva Vasquez</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>
Firma: <i>R. Palomino</i> Ronal Palomino Morales Nivel II SNT IC-IA VI, PT GCZ Ingenieros SAC	Firma: <i>[Signature]</i> <b>Jhojan Lelva Vasquez</b> Supervisor de Planta	Firma: <i>[Signature]</i>
Fecha: 11/09/2017	Fecha: 11/09/2017	Fecha: 10/12/2017

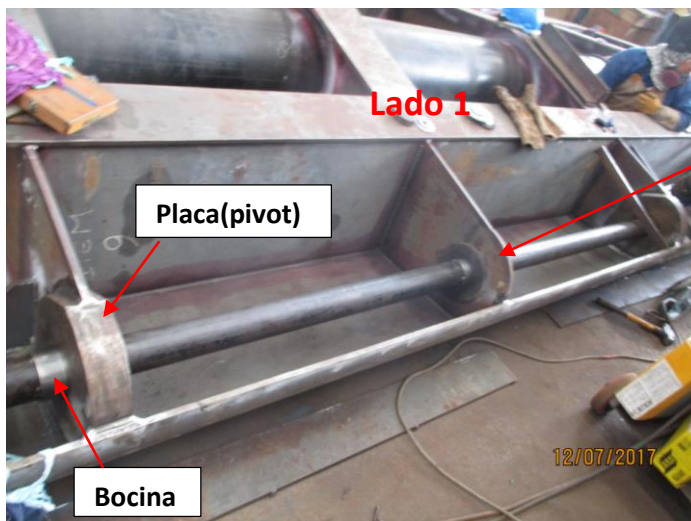
## ANEXO IV - COMPUERTA TIPO CLAPETA - HUAMPANI

### ENSAMBLE Y ALINEAMIENTO DE PLACAS (PIVOT)



- 1.- Se estableció para el alineamiento de placas un tubo con 03 bocinas con una Luz 0.03 mm de juego con respecto al agujero de las placas para su centrado. ( $\text{Ø}_{\text{agujero}_{\text{placa}}} 100 + 0.034\text{mm}$ )
- 2.- Se niveló y se verificó alturas con nivel óptico sobre los 3 puntos de apoyo (placas) una vez instalado el tubo.
- 3.- Se verificó giro de tubo, instalado sobre los apoyos, cada dos.

**Lado 1:** Después de la soldadura se verificó con reloj comparador excentricidad presentando hasta  $\Delta:0.33\text{mm}$  de variación, en parte central de tubo. Medido sobre bocina.





**Lado 2:** Después de la soldadura se verificó con reloj comparador, excentricidad presentando hasta  $\Delta:0.28$  mm de variación, en parte central de tubo. Medido sobre bocina.



Luego de verificación se retiró brida de apoyo central puesto en hoja de compuerta. observando cierta dificultad del lado 1 para hacer girar el tubo.

Observaciones:

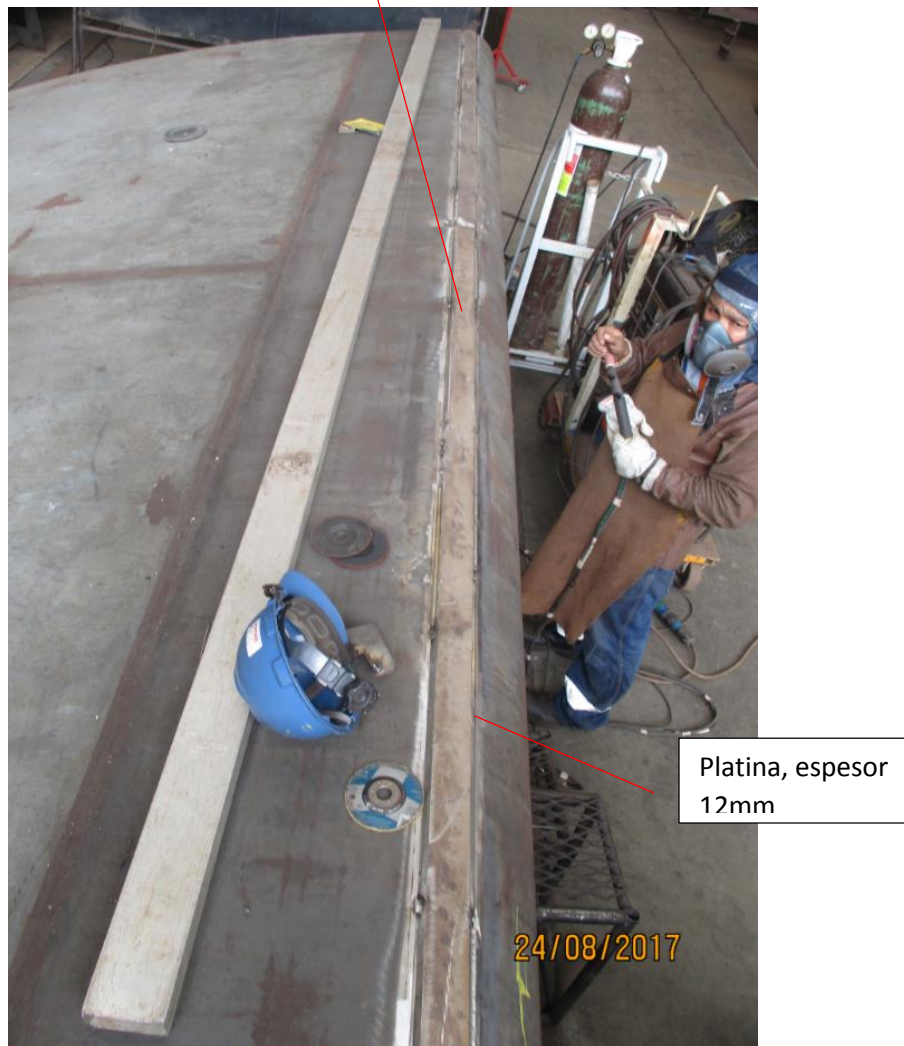
Se observó durante el armado y centrado de placas (pivot), que las bocinas habían sido rayadas, por falta de limpieza (incrustación metálica), lo cual tuvo que ingresar de manera forzada provocando aumento en las dimensiones de acabado.

**RECOMENDACIONES:**

- La verificación final tendría que realizarse con una estación total. Debido a la poca tolerancia que solicita de 0.1mm de variación como concentricidad.
- Cuando se instale elementos maquinados estos no deben ingresar forzados. La falta de limpieza en la instalación, puede provocar ralladuras en la superficie de acabado.

## COMPUERTA HUAMPANI

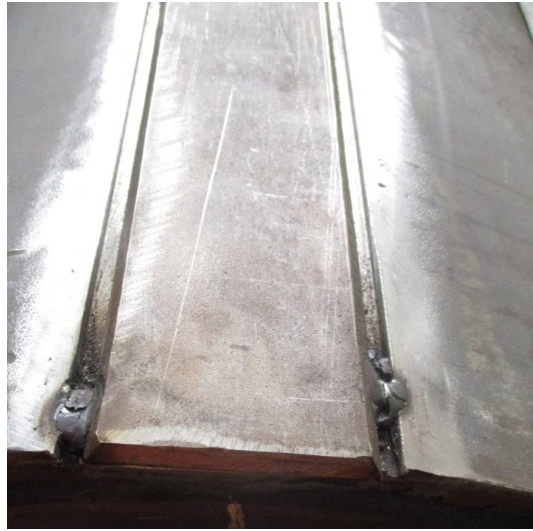
### SOLDEO DE PLATINA DE INOXIDABLE



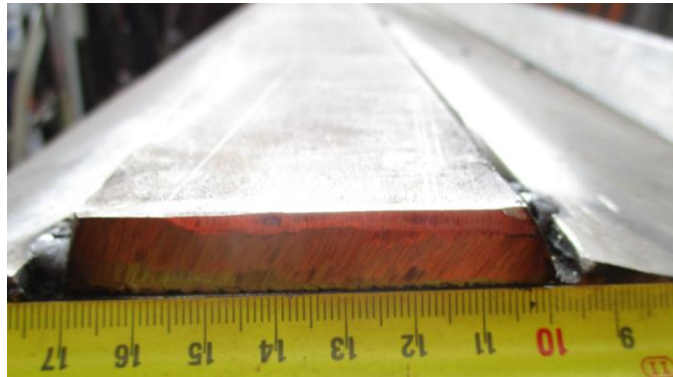
**Se ha observado que no se cuenta con plano de detalle aprobado por ingeniería.**

Proceso de soldeo empleado es TIG. Número de pases usado para relleno de canal por lo menos 2 pases. Se ha observado una luz en el centro de platina (de 1 mm aproximadamente en una longitud de 1,2 m). El cual se reducirá por mecanizado 6mm después del soldeo.

Se ha observado que la hoja de la compuerta presenta una ranura donde se aloja platina de inoxidable (como inserto). Platina no lleva agujeros para soldadura de tapón y solo lleva soldadura a los costados tipo canal.



Platina de inoxidable presenta un ancho de 70mm



Ranura presenta un ancho de 80mm por 2 a 2.5mm de profundidad



Conclusión: Las modificaciones deben darse con plano. Para soldeo por TIG debe considerarse un canal más pequeño de manera que solo se cubre con un pase, a mayor cantidad de pases mayor deformación.

## **Anexo V Procedimiento de pintura**



Alta Performance en Pinturas

## REPORTE DE RUGOSIDAD EN SUPERFICIE PREPARADA CON CHORRO ABRASIVO

CPP – DT – F02  
Fecha: 19.01.16  
Página 1 de 1  
Rev. 03

<b>Obra</b>	HER 1 – HUAMPANI	<b>Usuario Final</b>	CH HUAMPANI
<b>Cliente</b>	GCZ INGENIEROS	<b>Representante</b>	Ing. Ronal Palomino
<b>Contratista</b>	GCZ INGENIEROS	<b>Representante</b>	Juan Guillermo
<b>Asesor Técnico</b>	Ing. Frank Villegas M.	<b>Vendedor</b>	Ing. Danny Victorio
<b>Fecha</b>	15.09.17	<b>Lugar</b>	Planta GCZ - VES

### 1. DATOS GENERALES

<b>LOTE DE MUESTRA</b>	1
<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>	Compuerta de Acero del proyecto
<b>TIPO DE ABRASIVO</b>	Granalla Angular / Esférica
<b>GRADO DE PREPARACION DE SUPERFICIE</b>	Metal Blanco
<b>NORMA</b>	SSPC-SP5 / NACE 1

### 2. EVALUACION DE RUGOSIDAD

<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	Determinación cuantitativa por el método del micrómetro.
<b>NORMA DE REFERENCIA</b>	ASTM D 4417-93 Método C
<b>MARCA Y MODELO DEL EQUIPO UTILIZADO</b>	Micrómetro "Mitutoyo"
<b>N° MEDICIONES</b>	1
<b>VALOR OBTENIDO</b>	2.5 mils

### 3. REGISTRO FOTOGRAFICO



#### CONCLUSIONES / OBSERVACIONES

- El perfil de anclaje obtenido es apto para la correcta adhesión de los sistemas del presente proyecto.
- El rango recomendado para el proyecto (1.5 – 2.5 mils),.



**Frank Villegas M.**  
SSPC Protective Coating Inspector - Level 2  
Asesor Técnico QROMA

QA/QC Cargo

## **Anexo VI Fotos de Montaje**



