

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

"Diseño de sistema de dragado por agitación acoplado a la popa de una
embarcación multipropósito"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Juan Miño Zambrano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, abuelos, primos, y en especial a mis tíos, compañeros y tutores que apoyaron y alentaron en cada una de las etapas de este camino.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Juan José Miño

PhD Héctor Espinoza

PhD Rubén Paredes

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Autor
(Juan José Miño)



Director 1
(PhD Héctor Espinoza)

Director 2
(PhD Rubén Paredes)

RESUMEN

Los ríos sin mantenimiento presentan problemas de pérdida de navegabilidad. Estos problemas son causados por el aumento de la sedimentación, deforestación y construcción de obras sobre el los ríos o canales. Los efectos de pérdida de navegabilidad involucran pérdidas económicas y complicaciones fluviales para las embarcaciones. El objetivo general del presente proyecto es elaborar un sistema el cual sea acoplado a embarcaciones para generar un dragado por agitación por la hélice. El sistema a acoplar es un codo mitrado de 90° con su subsistema de sujeción e izaje, el codo permite direccionar el agua impulsada por la hélice y utilizar la fuerza del agua para erosionar sedimento del río. Entre los objetivos complementarios está establecer un modo y horario de operación del sistema de dragado por agitación.

La metodología se desarrolló en dos secciones, la primera involucró el análisis de flujo del agua impulsada por la hélice ingresando al codo y la segunda el diseño mecánico de sujeción e izaje del codo. El análisis de fluido se subdividió en el análisis de caudal impulsada por la hélice, caída de velocidad en timón direccional, fuerzas y momento ejercidas sobre el codo, diseño de espesor de codo y estimación de velocidad de impacto de agua en el lecho del río. El análisis de caudal impulsado en la hélice se realizó con el teorema de momento Rankine, la caída de velocidad en timón direccional se estimó con el análisis de capa limite, fuerzas y momento sobre el codo se desarrollaron utilizando el teorema conservación de momento lineal, el diseño del espesor del codo se utilizó la norma ASME B 31.3 y finalmente una simulación CFD para la estimación del velocidad de impacto del fluido hacia el lecho del río. El diseño mecánico involucró la selección de viga que soporta al codo, diseño de eje de sujeción, diseño de junta articula, cálculo de soldadura en juntas articuladas, cálculo de diámetro para cable de izaje y selección de winche para elevación. Se utilizó teoría de falla por fatiga para dimensionar viga y eje de sujeción, la teoría de falla estática en el diseño de la junta articulada, teoría de diseño en elementos con soladura y diseño de cable de acero para la selección del cable de izaje.

El análisis de fluidos se presentó los siguientes resultados: la velocidad generada en la hélice no presentó pérdidas en la velocidad en el timón direccional, las fuerzas y

momento generado en el codo presentaron una relación proporcional con la velocidad aguas abajo de la hélice, el espesor final del codo no superó las dimensiones de 1.5 mm y la simulación CFD mostró que se lograba superar la velocidad mínima de erosión del sedimento. En el análisis de diseño mecánico utilizó una viga IPN 280 en viga principal, eje secundario de 35 mm para la sujeción, las uniones soldadas tienen una garganta 18.16 mm, se seleccionó un diámetro de cable y winche en función de la carga muerta del sistema. Se determinó que el modo de operar fuese el siguiente: se inserta el pin en la junta articulada del eje sujeción y se procede al inicio de operación, una vez terminada las actividades se retira el pin del eje de sujeción y se procede al izaje gracias al winche y cable de izaje.

Palabras Clave: navegabilidad, hélice, codo mitrado, sistema de sujeción e izaje.

ABSTRACT

River due to poor maintenance present problems of loss of navigability. These problems are caused mainly by increased in sedimentation, deforestation upstream and construction on rivers or canals. The effects of loss of navigability involve economic losses and complications for ships displacement. The overall objective of this project is to develop a system, which will be couple to ships to generate an agitation dredging. The system is a miter bend 90 ° with its holding and lifting devices, the bend allows direct the water driven from the propeller and use the force of water to erode river sediment. Other objectives are to establish a schedule and system operation of the agitation dredging.

The methodology for the project is developed in two sections; the first involved the flow analysis of the water driven by the propeller entering the bend and the second section is the design mechanical of holding and lifting of the bend. The fluid analysis was divided into the flow analysis driven by propeller based on operating conditions of the vessel, speed decreased in the rudder, forces and moment exerted on the bend, bend thickness and design estimate of impact velocity of water in the riverbed. The flow analysis driven in the propeller was performed with the Rankine momentum theory to estimate the water flow down the propeller, the speed decreased in the rudder was estimated with the limit layer analysis, forces and momentum on the bend was determined using the Reynolds transport theorem and kinetic momentum theory respectively, for the design of the thickness of the elbow the standard ASME B 31.3 was used and finally a CFD simulation to estimate of the speed of impact of the fluid into the bed of the river. The mechanical design involved the selection of beam supporting the bend, holding shaft design, knuckle joints design, calculation of knuckle joint welding, diameter for wire rope and selection of winch for lifting. It was used theory of failure by fatigue for beam and attachment shaft, failure due to a static design in the articulated joint, theory of design in welded elements and design of steel wire rope.

The fluids analysis presented the following results: the generated water speed of the propeller doesn't present speed losses in the rudder, the forces and momentum generated in the bend presented a proportional relation to it speed waters down the

propeller, the final thickness of the elbow doesn't overcome dimensions of 1.5 mm and the CFD simulation showed with the range of colors to overcome its minimum erosion speed of the sediment. Analysis of the mechanical design used a beam IPN 280 as main beam, a shaft of 35 mm for holding of the main beam, welded joints have a minimum throat 18.16 mm, a diameter of wire rope and winch system were selected on dead load of the system. It was determined that the mode of operation was the following: pin is inserted into the knuckled joint of the holding shaft and the agitation system starts operation, once activities are ceased, pin in the knuckled joint is removed and proceed to hoist with the winch and wire rope.

Keywords: navigability, propeller, miter bend, holding and lifting devices.

ÍNDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	III
ÍNDICE GENERAL	V
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XV
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Marco teórico.....	5
1.3.1 Sistemas de propulsión, hélices y teoría de hélices.....	5
1.3.2 Teoría del momento de Rankine.....	6
1.3.3 Conservación de momento lineal en forma integral	7
1.3.4 Mareas.....	8
1.3.5 Teoría de fatiga.....	8
1.4 Análisis de alternativas de solución.....	9
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología de diseño	14
2.1 Bases y consideraciones del diseño.....	16

2.2	Diseño de codo guía.....	18
2.2.1	Velocidad y diámetro aguas abajo de la hélice	18
2.2.2	Caida de velocidad en timón direccional.....	21
2.2.3	Cálculo de fuerzas y momento sobre el codo	24
2.2.4	Espesor de codo	26
2.3	Estimación de velocidad de impacto en lecho del río	29
2.4	Sistema de sujeción e izaje	32
2.4.1	Viga principal	32
2.4.2	Eje de sujeción.....	35
2.4.3	Diseño de junta articulada	38
2.4.4	Soldadura en junta articulada	40
2.4.5	Cable de izaje y winche	42
CAPÍTULO 3.....		45
3.	Análisis de resultados.....	45
3.1	Codo guía.....	45
3.1.1	Velocidad y diámetro aguas abajo de hélice.....	45
3.1.2	Caída de velocidad en timón direccional	46
3.1.3	Fuerzas y momento sobre el codo.....	46
3.1.4	Espesor de codo	47
3.2	Estimación de velocidad de impacto	47
3.3	Diseño de sistema de sujeción e izaje.....	50
3.3.1	Selección de viga principal	50
3.3.2	Diseño de eje de sujeción	50
3.3.3	Junta articulada.....	50
3.3.4	Soldadura en junta articulada	51
3.3.5	Cable de izaje y winche	51

3.4	Análisis de costos.....	52
CAPÍTULO 4.....		54
4.	Discusión y Conclusiones.....	54
4.1	Conclusiones.....	54
4.2	Recomendaciones.....	55
Bibliografías.....		57
Anexo A.....		60
Curva Operacional de hélice		60
Anexo B.....		61
Sector Baja Paola.....		61
Anexo C.....		62
Mareas.....		62

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CEDEGE	Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del río Guayas
EE.UU.	Estados Unidos
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
ASME	Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos
HP	Caballos de Fuerza
USD	Dólar de Estados Unidos

SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetro
m ³	Metro cúbico
km ²	Kilómetros cuadrados
kg/m ³	Kilogramo sobre metro cúbico
ec	Ecuación
°C	Grados Celsius
Atm	Presión atmosférica
V _a	Velocidad de avance
V _b	Velocidad de agua en hélice
V _c	Velocidad aguas abajo de la hélice
w	Coeficiente de bloque
V _n	Velocidad de embarcación
a ₁	Factor de flujo de entrada aguas abajo
a	Factor de flujo de entrada en hélice
η _i	Eficiencia ideal de hélice
C _t	Coeficiente de empuje
K _t	Coeficiente de empuje
ρ	Densidad de agua
T	Empuje
n	Revoluciones en hélice
N	Revoluciones en hélice
D _b	Diámetro de hélice
δ	Espesor de capa límite
X	Longitud de timón direccional
μ	Viscosidad de agua
Re _x	Número de Reynolds
R _c	Radio del codo guía
R _x	Fuerza ejercida en codo en eje X
P ₁	Presión de ingreso de fluido
A ₁	Área de ingreso de fluido

V_1	Velocidad de fluido ingresando al codo
R_y	Fuerza ejercida en codo eje Y
W_{codo}	Fuerza debido al peso del codo
W_{agua}	Fuerza debido al peso debido al fluido en el codo
B_{empuje}	Fuerza de empuje debido al codo
P_2	Presión de salida del fluido
A_2	Área de salida del fluido
V_2	Velocidad de salida del fluido
T_a	Momento ejercido sobre el codo
H_1	Distancia perpendicular entre brazo de giro e ingreso de fluido
P_2	Presión de salida del fluido
A_2	Área de salida del fluido
H_2	Distancia perpendicular entre brazo de giro y salida del fluido
R_1	Radio efectivo de codo
D	Diámetro de codo
t	Espesor inicial de codo
t_m	Espesor final de codo
c	Espesor debido a corrosión
S	Esfuerzo permisible del material
E	Efectividad de soldadura
Y	Coeficiente de material
V_{max}	Velocidad de corriente
H	Altura de marea
hr	Horas
y	Altura seleccionada
σ_{max}	Esfuerzo máximo sobre viga
P	Máxima carga axial
A	Área de viga
M	Momento máximo aplicado
S_x	Módulo de sección con respecto a eje X
σ_{max}	Esfuerzo máximo sobre viga
σ_{min}	Esfuerzo mínimo sobre viga

σ_a	Esfuerzo alternativo sobre viga
σ_m	Esfuerzo medio sobre viga
η_f	Factor de seguridad
σ_a	Esfuerzo alternativo sobre viga
σ_m	Esfuerzo medio sobre viga
S_e	Límite de resistencia a fatiga corregido
S_{ut}	Límite de resistencia a tensión del material a utilizar
C_{car}	Coeficiente de carga
$C_{tamaño}$	Coeficiente de tamaño
C_{sup}	Coeficiente de superficie
C_{temp}	Coeficiente de temperatura
C_{confi}	Coeficiente de confiabilidad
S_e'	Límite de resistencia a la fatiga
σ_t	Esfuerzo de tensión
σ_c	Esfuerzo de aplastamiento
τ	Esfuerzo cortante
P	Fuerza axial
b	Espesor de ojal
d_o	Diámetro exterior del ojal
d	Diámetro de pasador
σ_t	Esfuerzo de tensión
σ_c	Esfuerzo de aplastamiento
τ	Esfuerzo cortante
P	Fuerza axial
a	Espesor de cada horquilla
d_o	Diámetro exterior del ojal
d	Diámetro de pasador
σ_{ta}	Esfuerzo de tensión admisible
σ_{ca}	Esfuerzo de aplastamiento admisible
T_a	Esfuerzo cortante admisible
S_{yt}	Esfuerzo de fluencia de tensión
S_{yc}	Esfuerzo de fluencia de compresión

S_{sy}	Esfuerzo de fluencia cortante
f_s	Factor de seguridad
n	Factor de seguridad
E_r	Módulo de Young para cables metálico
d_w	Diámetro de los alambres
D	Diámetro de polea o malacate
d	Diámetro nominal del cable
F_t	Carga aplicada en tensión
τ'	Esfuerzo cortante
F_o	Fuerza cortante en ojal
P	Fuerza axial en ojal
h	Espesor de garganta soldada
l	Ancho del ojal
d_{oj}	Largo del ojal
M	Momento aplicado debido a fuerza F_o en ojal
τ''	Esfuerzo cortante secundario [MPa]
S_{sye}	Esfuerzo fluencia de soldadura E7013
MPa	Megapascales
N-m	Newton metro
Kg	Kilogramo
in	Pulgada
lbf	Libra fuerza

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Causas y efectos de pérdida de navegabilidad	2
Figura 1.2 Curva de Hjulstrom.....	3
Figura 1.3 Sector Baja Paola.....	4
Figura 1.4 Hélice marina.....	6
Figura 1.5 Draga en canal de Chinook	10
Figura 1.6 Draga en Río Missouri.....	10
Figura 1.7 Equipo de agitación en Harbour Town	11
Figura 1.8 Diseño de forma de proyecto	13
Figura 2.1 Metodología de diseño	14
Figura 2.2 Ejemplo de tabla de marea.....	17
Figura 2.3 Conjunto hélice y timón direccional	22
Figura 2.4 Capa limite en timón direccional.....	22
Figura 2.5 Fuerzas en codo.....	24
Figura 2.6 Análisis de volumen de control.....	29
Figura 2.7 Simulación CFD, $V_{max}= 0.55$ m/s y tiempo= 1 hr	31
Figura 2.8 Simulación CFD, $V_{max}= 1$ m/s y tiempo= 3 hr	31
Figura 2.9 Diagrama de cuerpo libre de viga principal	33
Figura 2.10 Fuerzas actuantes en eje de sujeción	36
Figura 2.11 Componentes de junta articulada	38
Figura 5.1 Curva operacional de hélice	60
Figura 5.2 Carta aproximación de Baja Paola	61
Figura 5.3 Mareas	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz de decisión.....	12
Tabla 2.1 Parámetros iniciales de embarcación	18
Tabla 2.2 Velocidad antes, durante y después de hélice	21
Tabla 2.3 Diámetro velocidad aguas abajo	21
Tabla 2.4 Espesor de capa límite en timón direccional	23
Tabla 2.5 Fuerzas y momento sobre el codo.....	26
Tabla 2.6 Esfuerzos permisible de aceros.....	27
Tabla 2.7 Coeficiente Y para aceros	28
Tabla 2.8 Eficiencia en juntas.....	28
Tabla 2.9 Espesor de codo.....	29
Tabla 2.10 Altura y velocidad de corriente del río.....	30
Tabla 2.11 Factor de seguridad para vigas utilizadas	35
Tabla 2.12 Medidas principales de horquilla y ojal	40
Tabla 2.13 Factores de seguridad de cables en aplicaciones	42
Tabla 2.14 Datos de cables metálicos estándar	43
Tabla 2.15 Capacidades de winche neumático	44
Tabla 3.1 Velocidad aguas abajo de hélice	45
Tabla 3.2 Fuerzas y momento sobre el codo.....	47
Tabla 3.3 Velocidad de navío para lograr erosión de sedimento.....	48
Tabla 3.4 Costo de materiales.....	52
Tabla 3.5 Costo de servicios	53
Tabla 3.6 Costo de equipos adicionales	53

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Horquilla
- PLANO 2 Ojal
- PLANO 3 Pin
- PLANO 4 Ensamble y vista explosionada de junta articulada
- PLANO 5 Calderería de codo
- PLANO 6 Codo de 90 °
- PLANO 7 Calderería de codo
- PLANO 8 Ensamble de junta articulada, viga, eje y codo.
- PLANO 9 Ensamble general

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El capítulo 1 describe el problema a resolver con sus causas y efecto, menciona los objetivos generales y específicos, el marco teórico con información referente al proyecto y un análisis de alternativas de solución con su respectiva matriz de decisión para la elección la solución más viable para el proyecto.

El capítulo 2 describe la metodología, bases y consideraciones del proyecto. Además contiene el desarrollo y resultado de cada una de las parte del diseño del proyecto. El capítulo 3 analizan los resultados obtenidos en el capítulo previo, además se incluye una sección de costos para la elaboración del proyecto y finalmente el capítulo 4 contiene recomendaciones y conclusiones sobre el desarrollo de proyecto.

1.1 Descripción del problema

El río Guayas nace frente a la ciudad de Guayaquil, debido a la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo. Su cuenca comprende una extensión de más de 40.000 km² y es la mayor cuenca hidrográfica de Ecuador. La sedimentación del río Guayas no es homogénea a lo largo del río, debido a que recibe sedimentos de sus dos afluentes. En el río Daule predomina arena con un porcentaje entre 70 y 99% mientras que en el río Babahoyo predomina limo con un porcentaje entre 64 y 87% (Soledispa, 2002).

El río Guayas años atrás fue la vía fluvial más importante del comercio de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, hoy en día con problemas relacionados a la sedimentación su actividad comercial fluvial está comprometida. El calado crítico de río es de 4.20 metros lo que restringe el ingreso y salida de embarcaciones de carga, turísticas y de combustible con calados superiores a los 4 metros. (Cámara Marítima del Ecuador, 2013).

La causa principal de este problema se debe al incremento de la sedimentación en el lecho del río. En la cuenca del río Guayas se registró

una tasa de promedio anual de erosión laminar de 0.5 mm, equivalente a más de 15 millones de toneladas métricas de sedimento en un estudio realizado por CEDEGE en el año 2001. Existen varias opiniones profesionales que indican que el crecimiento en la sedimentación se debe principalmente a la tala indiscriminada de las cuencas de los ríos, la erosión del suelo aguas arribas (Consultores Vera y Asociados, 2014) y obras de infraestructura cercanas a ríos, debido a que no se toman en cuenta las características del río al momento de construir (Suárez, 2010).

Además este incremento en el sedimento aumenta el riesgo de navegación aeroportuaria en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo, debido a que aves se asientan en los bancos de sedimento dificultando el ingreso de las aeronaves. El aumento en la sedimentación también limita los servicios fluviales y de navegación, siendo estos aspectos los más importantes (Consultores Vera y Asociados, 2014).

Un análisis de causa y efectos se presenta en la figura 1.1, donde se muestran las principales causas y efectos del problema relacionado con pérdida de navegabilidad en el río Guayas.

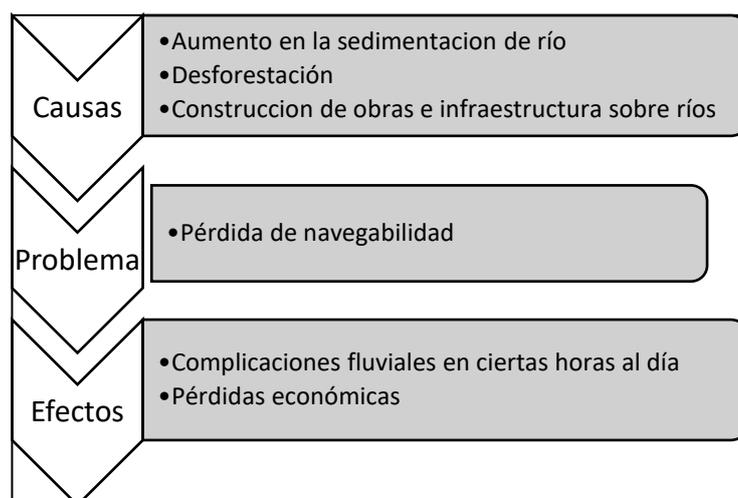


Figura 1.1 Causas y efectos de pérdida de navegabilidad

Fuente: Propia

El proyecto propone una alternativa para disminuir el problema de la acumulación de sedimento, direccionando el chorro de agua impulsada por la hélice de un barco, haciendo que el chorro de agua viaje por un codo de 90° y golpee el fondo del lecho del río con una velocidad superior a 1 m/s. Ocasionalmente disgregará el sedimento, donde se aprovechará la misma corriente fluvial para que esta se encargue de transportar el sedimento en flotación, haciendo una analogía con el dragado por agitación o dustpan (Técnicas de dragado, 2012). Se propone que el proyecto sea ubicado en sectores como Baja Paola ya que este lugar a lo largo del Río Guayas presenta un calado crítico de 4.20 metros en baja marea lo cual hace que embarcaciones con más de 4 metros de calado vean restringida sus operaciones (Cámara Marítima del Ecuador, 2013).

Para que una partícula de sedimento, sea esta arcilla, arena o limo, se erosione o transporte, debe adquirir cierta velocidad mínima la cual está en función de la granulometría del sedimento. La figura 1.2 relaciona dos parámetros, el diámetro de partícula y velocidad de corriente, con estos dos parámetros se puede determinar el movimiento de la partícula, en caso de existir alguno.

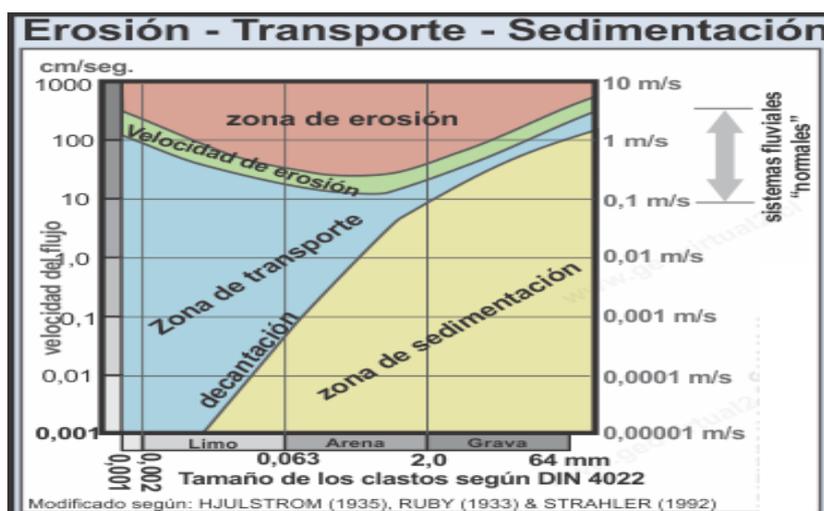


Figura 1.2 Curva de Hjulstrom

Fuente: (Wolfgang, 2016)

El río Guayas tiene un comportamiento granulométrico especial, ya que a lo largo del río tanto el diámetro de sus partículas y porcentajes de contenido varían. Los diámetros varían desde partículas finas (0.012 mm) hasta partículas medias (0.275mm), además los porcentajes de arena, limo y arcilla varían también. La zona de estudio, Baja Paola, contiene un diámetro de arena de 0.275 mm, porcentaje de arena en 98.83%, porcentaje de limo 1.17% y no posee arcilla (Rada, 1986), ver figura 1.3 donde se resalta en un cuadro rojo el sector de Baja Paola en la carta náutica de Guayas, Ecuador (adjunta en anexo B se encuentra una carta de aproximación del sector Baja Paola). La limitación principal del proyecto es el horario en el cual se puede desarrollar, ya que la corriente del río y altura navegable del mismo están establecidas en tablas de marea.

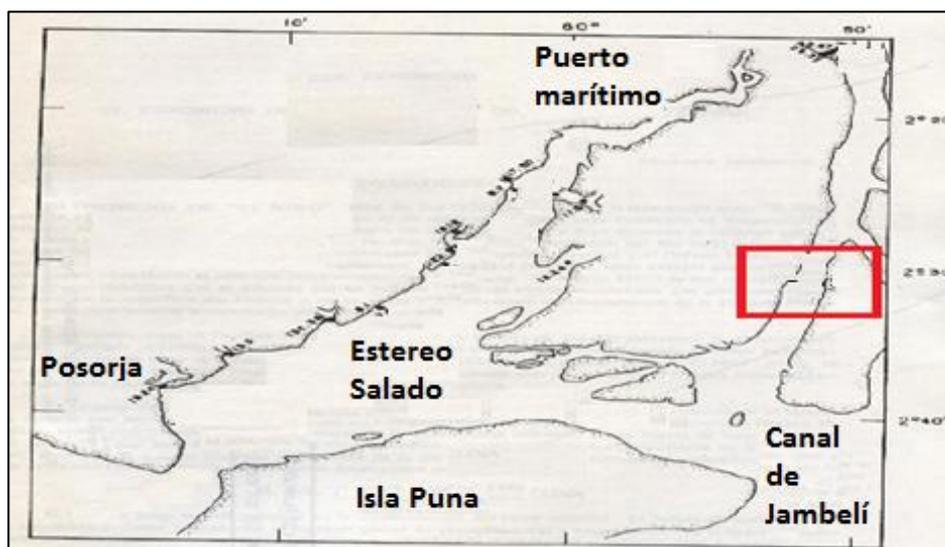


Figura 1.3 Sector Baja Paola

Fuente: (Rada, 1986)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema que mediante la rotación de la hélice promueva la suspensión del sedimento para que la velocidad de la corriente junto a la agitación provocada por la hélice desplace el sedimento suspendido, con

el propósito de aumentar el nivel de profundidad en zonas específicas del río Guayas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar codo guía de agua propulsada por la hélice
- Diseñar un sistema de izaje y suspensión
- Indicar modo de operación del sistema
- Establecer un horario de operación
- Analizar resultados obtenidos
- Realizar planos ilustrativos

1.3 Marco teórico

Esta sección, representa al conjunto de información, teoremas y teorías necesarias para el desarrollo del proyecto.

1.3.1 Sistemas de propulsión, hélices y teoría de hélices

El sistema de propulsión de un buque es el conjunto de elementos y maquinaria que permiten que el buque se desplace a la velocidad deseada. El desarrollo del motor de combustión interna y tubos hidráulicos permitieron un avance en los sistemas de propulsión, permitiendo transportar mayor volumen de carga con un menor consumo de combustible. Hoy en día los sistemas de propulsión más usados: hélices convencionales, hélices de paso variable, hélices con toberas, propulsores a chorro y propulsor acimutal (Sector marítimo de ingeniería naval, 2013). Las hélices convencionales son las más utilizadas por su fácil manufactura, costo, mantenimiento y avanzado estudio sobre estas hélices.

La hélice, ver figura 1.4, es un elemento mecánico formado por un conjunto de palas o alabes ordenados en forma concéntrica en un eje, donde gracias al movimiento rotatorio de la misma se logra un empuje

hacia atrás o adelante en el movimiento de la embarcación. La nomenclatura de las hélices viene dada por el número de alabes y el paso, el paso se define como la distancia horizontal que se desplaza la hélice al dar una vuelta sobre su propio eje. La diferencia principal entre las hélices convencionales y hélices de paso variable se da que en las hélices de paso variable se puede ajustar el paso de la hélice dependiendo de las condiciones finales deseadas (Fondear, 2011).



Figura 1.4 Hélice marina

Fuente: (Barts, s.f.)

Desde la existencia de la hélice, el ser humano ha validado la eficiencia de la misma, tanto experimental como teóricamente. De forma experimental se utiliza la técnica llamada características del rendimiento de hélice, donde se involucran factores como viscosidad, coeficiente de avance, número de Reynolds entre otros, en esta técnica se utilizan diagramas que nos permiten determinar eficiencias, empujes y torques generados por la hélice. De forma teórica existen teorías de hélice como: teoría del momento Rankine-Froude, teoría de elemento de hélice, análisis Burrill, método analítico de Lerbs, método de diseño de Eckhant y Morgan, entre otros (Carlton, 2007).

1.3.2 Teoría del momento de Rankine

El ingeniero Rankine, propuso una teoría donde la hélice se modela como un disco, donde se ignora la geometría de la hélice. En la actualidad no se

utiliza esta teoría para diseño de hélices sin embargo la misma conlleva a conclusiones generales aceptables acerca de la hélice en acción. Esta teoría considera a la hélice como un disco de espesor infinitesimal que absorbe toda la potencia del motor y la disipa causando una variación en la presión (Carlton, 2007). La teoría del momento de Rankine será utilizada en el proyecto para estimar el flujo másico de agua que impulsa la hélice de la embarcación.

La teoría del momento Rankine contiene tres asunciones:

- La hélice trabaja en un fluido ideal por ende no presenta pérdidas de energía debido a las fuerzas de arrastre.
- La hélice ha sido reemplazada por un disco, equivale a decir que la hélice tiene un número infinito de aspas o alabes.
- La hélice produce un empuje de agua sin producir movimiento rotacional del chorro de agua.

Finalmente se considera que la hélice absorbe toda la energía del conjunto motor-reductor y disipa toda esa energía hacia el flujo de agua.

1.3.3 Conservación de momento lineal en forma integral

1.3.3.1 Teorema de transporte de Reynolds

El teorema de transporte de Reynolds nos permite aplicar leyes básicas de fluidos a regiones específicas de estudio. Este teorema involucra la derivada temporal de una propiedad de fluido, sea esta velocidad, masa, momento lineal, momento angular o energía interna. Las formulas difieren ligeramente según la superficie de control a utilizar, donde estas pueden ser: fijas, móvil o deformables (White, 2008). El teorema de transporte de Reynolds servirá para determinar las fuerzas necesarias para mantener fijo el codo debido al movimiento del agua a través del mismo.

1.3.3.2 Teorema del momento cinético

El teorema de momento cinético tiene como derivada temporal al momento cinético, es crucial considerar al grupo de partículas como no rígidas con velocidad variable ya que el concepto de inercia másica no sería de gran ayuda. El respectivo teorema puede ser considerado como tema secundario pero tiene aplicaciones directas a problemas donde el fluido ejerce un momento por ejemplo en turbomáquinas (White, 2008). El teorema de momento cinético permite determinar si el momento ejercido por el flujo de agua dentro del codo es significativo para análisis posteriores.

1.3.4 Mareas

El ciclo de marea se define como el ascenso y descenso periódico de todas las aguas oceánicas, incluyendo mar abierto, golfos, bahías y ríos. La marea es el resultado de la atracción de la Luna sobre el agua de los océanos. Se producen dos mareas altas y bajas cada día lunar, que tiene una duración media de 24 horas y 30 minutos. Se denomina pleamar al nivel máximo alcanzado por una marea creciente y bajamar al nivel mínimo alcanzado por una marea (Drápela, 2008), el periodo de marea entre pleamar y bajamar consecutiva se denomina marea vaciante (Marina de Guerra del Perú, 2016), esto de marea se define al momento cuando la velocidad de corriente es cercana a cero y ocurre al cambio de pleamar a bajamar o viceversa (Garro, 2001) (observar anexo C). Una manera de predecir las mareas es utilizando una tabla de mareas, que predicen la hora y altura de pleamar y bajamar en un puerto o río. Se utilizará una tabla de mareas para indicar las horas en la cual se puede realizar la actividad de dragado por agitación.

1.3.5 Teoría de fatiga

Elementos mecánicos tales como vigas, ejes, bielas, resortes, entre otros, están sometidos a cargas variables. El comportamiento de los mismos

difiere al momento de estar sometido a cargas estáticas o cargas variables. Las cargas variables tienden a producir grietas, muescas o concentradores de esfuerzo, los cuales pueden producir una falla en el material después de cierto número de repeticiones. La teoría de fatiga estudia el comportamiento de materiales sometidos a cargas variables. Según esta teoría, los factores que afectan directamente la vida de elementos mecánicos son superficiales, tamaño, temperatura, efectos varios, tipo de carga y concentradores de esfuerzos. Para validar un diseño bajo fatiga se procede a utilizar métodos de Gerber, Soderberg o Goodman modificada (Norton, 2011). La teoría de fatiga se utiliza hoy en día ya que los elementos de un diseño son sometidos a condiciones variables donde el comportamiento del material difiere de un diseño estático donde el elemento está sometido a condiciones invariables. La teoría de fatiga será utilizada para dimensionar elementos mecánicos tales como vigas o ejes que posea el diseño.

1.4 Análisis de alternativas de solución

La sección 1.4, comenta sobre 3 tipos de dragado por agitación, sus lugares de aplicación y mecanismo de operación, esta introducción sirve como fundamento para un posterior análisis de alternativas y elaboración de una matriz de decisión para escoger la opción de dragado por agitación más viable para el desarrollo del proyecto.

El dragado por agitación ha sido utilizado en desembocaduras de ríos, cauces de ríos y estuarios. El canal de Chinook (Washington, EE. UU) poseía 3.05 metros de profundidad, 45.72 metros de ancho y 2011.68 metros de largo, utilizó un sistema que direccionó el chorro de agua generado por la hélice para disgregar el sedimento en el fondo del canal. El sistema de dirección consistía en una compuerta accionada por seis brazos hidráulicos que accionaban una compuerta, ver figura 1.5. La compuerta servía para guiar el flujo debajo del agua generado por 2 hélices de 1.4 metros de diámetro cada una. Este proceso removió 350 m³ por cada hora

de operación, donde se trabajaron 6 horas diarias durante 10 días. (Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU., 1985)

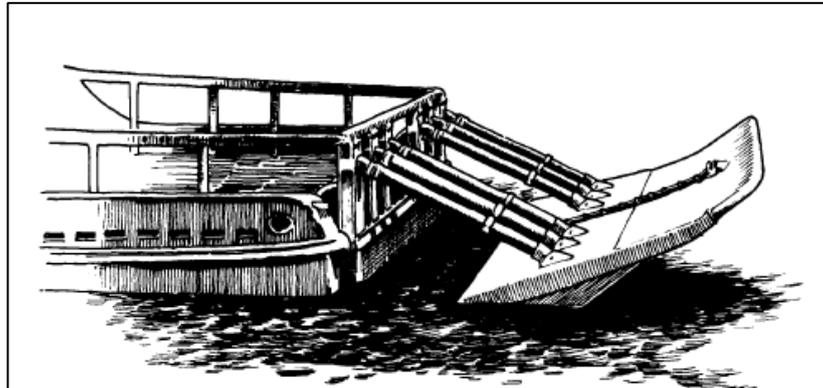


Figura 1.5 Draga en canal de Chinook
Fuente: (Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU., 1985)

En el río Missouri, cuyas dimensiones son: 2414 kilómetros de largo, 2.74 metros de profundidad y 91.44 metros de ancho (Missouri, EE UU), se aplicó un dragado por agitación donde para direccionar el chorro de agua se utilizaron dos codos deflectores, ver figura 1.6. La sedimentación del río Missouri consistía principalmente de arena fina de 0,25 mm de diámetro. A lo largo del río se realizaron pruebas de batimetría durante 1 mes donde se concluyó que el proceso removió 250 m³ por cada hora de operación. (Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU., 1985)

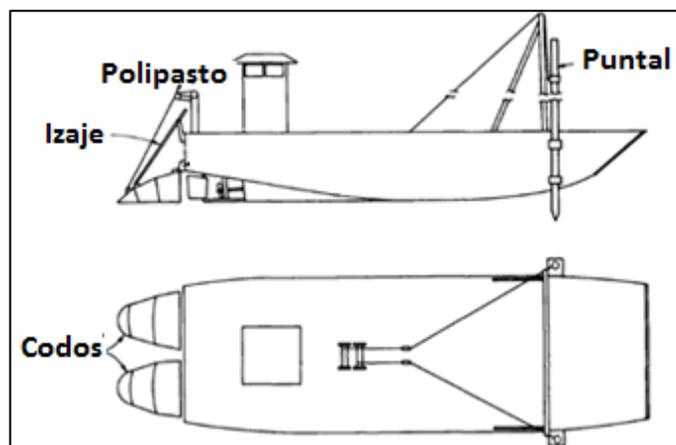


Figura 1.6 Draga en Río Missouri
Fuente: (Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU., 1985)

Un método de dragado por agitación alternativo fue utilizado en Harbour Town Marina, Carolina del Sur (EE.UU.). El equipo utilizado consistía en 4 ductos de 2 pulgadas de diámetro interno y 43 pies de largo, donde cada ducto contenía pequeñas perforaciones, ver figura 1.7, por los cuales circulaban aire desde un compresor de 30 HP el cual estaba colocado en tierra firme. Este equipo una vez posicionado en el barco, se hacía descender hasta el lecho marino y se encendía el compresor, haciendo que el sedimento se agite y gracias a los efectos de la marea, el sedimento fluía aguas abajo.

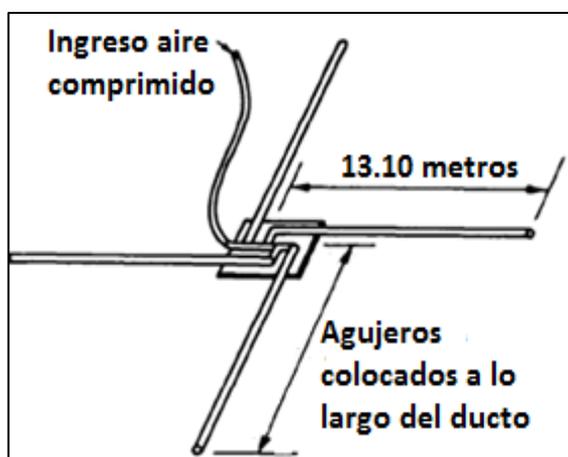


Figura 1.7 Equipo de agitación en Harbour Town

Fuente: (Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU., 1985)

A continuación se presenta una tabla con las opciones descritas previamente con fin de escoger un método para nuestro proyecto.

Los criterios seleccionados para evaluar la matriz son equipos necesarios de operación, trabajo continuo y uniforme, costo de instalación y equipo, y mantenimiento de los equipos. La categoría de equipo necesario representa la cantidad de equipos, elementos o accesorios necesarios para que el sistema trabaje con normalidad. Trabajo uniforme y continuo se refiere al trabajo que realizará el equipo sobre el sedimento, es importante aclarar que una parte fundamental del dragado es cuan uniforme queda el suelo después del dragado. La categoría costo de instalación y equipos hace

referencia a la inversión necesaria para colocar en sitio. La categoría de mantenimiento tiene relación a cuan frecuente y económico es dar mantenimiento a los equipos necesarios.

Tabla 1.1 Matriz de decisión

	Método de agua impulsada a través de codo (Ver figura 1.6)	Método de Compuerta (Ver figura 1.5)	Método de Inyección de aire (Ver figura 1.7)
Equipo necesario	Sistema de suspensión e izaje, codo (3)	Brazos hidráulicos, bombas, reservorio de aceite, compuerta (1)	Compresor de aire, tubos de gran longitud, sistema de izaje y suspensión. (1)
Trabajo continuo y uniforme	Cumple (3)	Cumple (3)	Cumple (3)
Costo de instalación y equipos	Bajo(3)	Mediano (2)	Elevado (2)
Mantenimiento	Bajo (2)	Mediano (2)	Alto (1)
Total	11/12	8/12	7/12

Fuente: Propia

Cada categoría de la tabla 1.1 está evaluada sobre 3 puntos, para dar un valor equitativo de importancia al momento de elección.

Los equipos necesarios en cada método son los nombrados previamente, en esta sección se asignó el puntaje más alto al sistema que contenía menor número de elementos.

Se considera trabajo continuo y uniforme al servicio de dragas que deja el lecho de río uniforme y continuo, esto siempre se da en dragas hidráulicas y por agitación, por esta razón las 3 opciones tienen el mismo puntaje.

El costo de instalación y mantenimiento se asignó dependiendo a la complejidad del equipo a instalar y cuán frecuente era su mantenimiento, el puntaje más alto fue para el menor costo de instalación y bajo costo mantenimiento.

La matriz mostrada previamente señala que la mejor opción para resolver el problema de sedimentación es la primera opción de impulsar agua proveniente de la hélice a través de un ducto o un codo. El diseño propuesto produce un trabajo continuo y uniforme, donde únicamente se necesita el dimensionamiento de 2 equipos, el costo de instalación se considera bajo en relación a las otras formas señaladas en la tabla 1.

A continuación se presenta un diseño de forma del diseño a ejecutarse, el respectivo codo con su sistema de sujeción e izaje acoplado a la popa de una embarcación, observar figura 1.8.

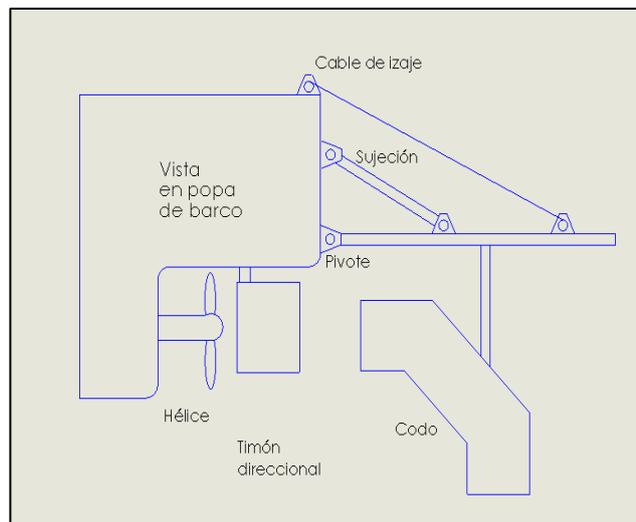


Figura 1.8 Diseño de forma de proyecto
Fuente: Propia

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Se establece un flujograma, ver figura 2.1, el cual permite de forma ordenada desarrollar etapas para el diseño del proyecto; cada etapa del flujograma contiene consideraciones que serán mencionadas en su respectiva sección.

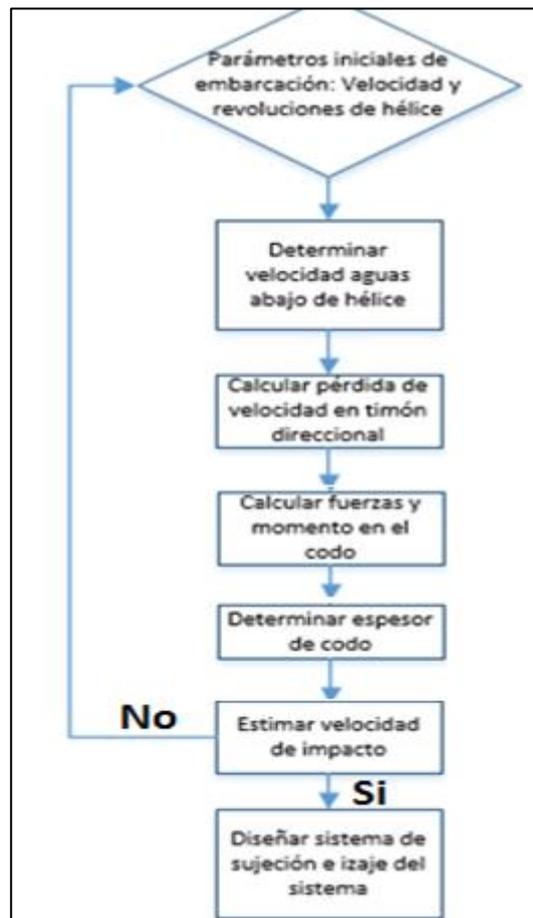


Figura 2.1 Metodología de diseño

Fuente: Propia

En el diseño del sistema es necesario saber los caudales de ingreso del respectivo fluido para el correcto dimensionamiento del codo y su sistema de izaje. Los respectivos caudales de ingreso, impulsados por la hélice, se los determina con información de la hélice y parámetros iniciales de trabajo. Una vez calculado los caudales ejercidos por la hélice se proceden a estimar las caídas de velocidad del fluido con un análisis de capa límite debido a la interacción entre el fluido y el timón

direccional de la embarcación, se espera que la caída de velocidad sea mínima en caso de que el fluido sea turbulento, debido a que en estado turbulento la región viscosa es fina y no se extiende hacia arriba a diferencia del estado laminar. (White, 2008)

El codo guía para mantener una posición fija se necesitan encontrar las fuerzas y momento ejercidos por el fluido sobre el codo, donde a su vez estas fuerzas serán aplicadas sobre el sistema de sujeción. La herramienta para determinar estas fuerzas y momento son el teorema de transporte de Reynolds y teorema de momento cinético. El resultado esperado en dicho análisis es una relación proporcional de las fuerzas con la velocidad de ingreso del fluido.

El dato de caudal de ingreso sirve calcular el espesor mínimo que debe tener el codo para resistir las fuerzas ejercidas por el fluido, como recomendación de la norma asociación americana de ingenieros mecánicos B31.3 (ASME, para sus siglas en inglés) se indica que el espesor debe ser mayor a 2 mm para evitar problemas en la soldadura.

El fluido saldrá por el codo en dirección vertical descendente donde existirá una altura desde la salida del codo hasta el fondo del río, la altura mencionada es determinada con tablas de mareas. Se procede a estimar la velocidad de impacto con una simulación computacional. En caso de insuficiente velocidad de impacto se procede a utilizar una nueva velocidad dispuesta en la tabla de parámetros iniciales de la embarcación. En caso de existir suficiente velocidad de impacto se procede a diseñar el sistema de sujeción e izaje. En esta sección se espera conseguir resultados 1 hora después de pleamar, antes no debido a la altura del río.

Los elementos que conforman el sistema de sujeción se diseñan a partir de las fuerzas y momento máximo ejercidos sobre el codo, se escogen los valores máximos para asegurar que el sistema soporta las máximas cargas aplicadas. Los elementos que conforman el sistema de sujeción son: vigas, ejes, juntas articuladas y soldadura. Los elementos mencionados se diseñan con teoría de falla por fatiga

en vigas y ejes, teoría estática para la junta articulada y teoría de uniones permanentes para la soldadura. Se espera que los elementos diseñados se encuentren en el mercado nacional, en caso de no encontrarse con las medidas calculadas se escogerán medidas superiores.

Los elementos los cuales conforman el sistema de izaje son el cable de izaje y winche, el cable de izaje es diseñado con teoría de elementos mecánicos flexibles, el winche es seleccionado en base a la carga que debe izar. Se espera que el cable de izaje no supere la dimensión de $\frac{1}{4}$ a $1 \frac{1}{4}$ pulgadas debido que esas medidas se encuentran en el mercado nacional.

2.1 Bases y consideraciones del diseño

La sección 2.1 menciona bases y consideraciones principales para el desarrollo del proyecto. Consideraciones desde el fluido de trabajo hasta fuerzas máximas ejercidas sobre el sistema de sujeción.

Densidad de agua

La densidad del agua varía dependiendo su salinidad. En el sitio de trabajo ocurren vaciantes y llenantes de agua dulce y agua de mar respectivamente. Se considera una densidad promedio de 1011.5 kg/m^3 , a condiciones estándar de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y 1 atm .

Flujo másico impulsado por la hélice

En la determinación del flujo másico impulsado por la hélice, se opera con los parámetros iniciales del navío, velocidad del navío y revoluciones en la hélice para ser específico. No se operará con velocidades mayores a 8 nudos, ya que esta es la máxima velocidad proporcionada por la embarcación.

Velocidad mínima de impacto

Para la erosión y transporte del sedimento, se requiere una velocidad mínima de erosión o también llamada velocidad de impacto. La velocidad de

impacto es determinada mediante la curva de Hjulstrom, para determinar la velocidad de impacto es necesaria información de que tipo y diámetro de sedimento se estará tratando. En el sector a aplicar el tipo de sedimento es arena gruesa con un diámetro de arena 0.275 mm (Rada, 1986).

Mareas

El río Guayas está influido por mareas crecientes y decrecientes. Para ríos y canales se utilizan tablas de marea las cuales indican la hora y altura a la cual ocurre la bajamar y pleamar del río. La periodicidad de las mareas es constante, aproximadamente 6 horas, pero las mareas se desfazan de 20 a 40 minutos cada día, esto se observa en la siguiente figura.

GUAYAQUIL-RÍO					
23/06/2016 Jueves		24/06/2016 Viernes		25/06/2016 Sábado	
Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros	Hora hh:mm	Altura Metros
04:03	0.07 B	04:48	0.03 B	05:34	0.04 B
09:21	4.48 P	10:06	4.46 P	10:53	4.40 P
16:26	0.23 B	17:12	0.21 B	18:01	0.25 B
21:35	4.40 P	22:22	4.33 P	23:12	4.21 P

Figura 2.2 Ejemplo de tabla de marea

Fuente: (INOCAR, instituto Oceanográfico de la Armada, 2016)

Espesor de codo

El codo estará sometido a presiones, principalmente las hidrodinámicas debido al agua. Para determinar el espesor del codo se utiliza la norma ASME B31.3, posterior al cálculo en caso de que el espesor final a utilizar sea menor que 2mm, se recomienda utilizar un espesor final de 3mm para no tener inconvenientes con la soldadura.

Presión de salida del fluido en el codo

La presión de salida del fluido en el codo se la determina considerando una caída de presión debido a un accesorio en un sistema de tubería.

Momento ejercido sobre el codo

El momento ejercido sobre el codo debido al ingreso y egreso del fluido de trabajo depende del punto de sujeción del codo, se considera el punto de sujeción en la misma línea de acción del peso de codo para evitar que esta fuerza ejerza un momento.

Diseño de sistema de sujeción

Los elementos que conformen el sistema de sujeción o suspensión serán diseñados con las fuerzas y momentos máximos ejercidos en el codo, debido a que son las máximas fuerzas que estarán sujeto el sistema. En la viga principal del sistema se considera el factor peso al momento de su elección.

2.2 Diseño de codo guía

2.2.1 Velocidad y diámetro aguas abajo de la hélice

La teoría del momento de Rankine y curvas operacionales de la respectiva hélice son utilizadas para determinar el caudal (velocidad y diámetro aguas abajo) impulsada por la hélice a medida que varía la velocidad de la embarcación y las revoluciones del eje de la hélice. Se determina la velocidad y áreas de velocidad aguas abajo debido a que en el diseño del codo estos valores son necesarios para estimar la caída de velocidad en el timón, espesor de codo y fuerzas y momentos aplicados sobre el codo. Los parámetros iniciales de trabajo de la embarcación se observan en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Parámetros iniciales de embarcación

V_n Velocidad de embarcación [kn]	V_n Velocidad de embarcación [m/s]	Revoluciones al eje de hélice [rpm]
2	1.02	300
4	2.05	400
6	3.08	500
8	4.11	600

Fuente: Propia

Se espera que la velocidad aguas abajo, V_c , se incremente y área aguas abajo, A_c , se reduzca al aumentar los parámetros iniciales de operación. El comportamiento de la velocidad aguas abajo no tendrá un crecimiento uniforme, esto se debe a que el factor de flujo de entrada, a_1 , decrece a medida que aumenta la velocidad de avance de la embarcación. El proceso para determinar la velocidad aguas abajo de la hélice empieza determinando la velocidad de avance, utilizando la ecuación 1, y finaliza determinando los factores de flujo de entrada para determinar la velocidad la velocidad aguas abajo. Las ecuaciones utilizadas en la sección 2.2.1 provienen de (Carlton, 2007) y (Lewis, 1988).

$$V_a = V_n(1 - w) \quad \text{ec (1)}$$

Donde:

V_a : Velocidad de avance [m/s]

w : Coeficiente de bloque [0.16]

V_n : Velocidad de embarcación [m/s]

La velocidad de avance es utilizada para determinar el coeficiente de avance, J , utilizando la ecuación 2, donde posterior se intercepta el coeficiente de avance con la relación P/D en la gráfica de curvas operacionales de la hélice (adjunta en anexos A), para determinar el coeficiente de empuje K_t . El empuje, T , ejercido por la hélice se determina con la ecuación 3, donde a su vez sirve para calcular el coeficiente de empuje, C_t , con la ecuación 4. Una vez determinado el coeficiente C_t se procede a determinar la eficiencia ideal de la hélice, η_i , utilizando la ecuación 5.

$$J = \frac{30.89V_{ak}}{N \cdot D_b} \quad \text{ec (2)}$$

$$K_t = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D_b^4} \quad \text{ec (3)}$$

$$C_t = \frac{T}{0.5 \cdot (\rho \cdot A_b \cdot V_a^2)} \quad \text{ec (4)}$$

$$\eta_i = \frac{2}{1 + \sqrt{C_t + 1}} \quad \text{ec (5)}$$

Donde:

J: Coeficiente de avance [-]

V_{ak} : Velocidad de avance [kn]

N: Revoluciones en hélice [rpm]

D_b : Diámetro de hélice [0.82 m]

K_t : Coeficiente de empuje [-]

T: Empuje [N]

P/D: Coeficiente paso sobre diámetro de hélice [1.05]

ρ : Densidad de agua [1011.5 kg/m³]

n: Revoluciones en hélice [rps]

C_t : Coeficiente de empuje [-]

A_b : Área de hélice [0.52 m²]

η_i : eficiencia ideal de hélice [-]

La eficiencia ideal de la hélice, η_i , sirve para determinar los factores de flujo de entrada que ocurren en la hélice y aguas abajo, con las ecuaciones 6 y 7. Para finalmente determinar la velocidad aguas debajo de la hélice y en la hélice se utilizan los factores de flujo de entrada y la velocidad de avance con las ecuaciones 8 y 9.

$$\eta_i = \frac{1}{1 + a} \quad \text{ec (6)}$$

$$a_1 = 2a \quad \text{ec (7)}$$

$$V_c = V_a(1 + a_1) \quad \text{ec (8)}$$

$$V_b = V_a(1 + a) \quad \text{ec (9)}$$

Donde:

V_c : Velocidad aguas abajo [m/s]

V_b : Velocidad de agua en la hélice [m/s]

a_1 : Factor de flujo de entrada aguas abajo [-]

a : Factor de flujo de entrada en hélice [-]

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.2 Velocidad antes, durante y después de hélice

V_a [m/s]	J [-]	K_t [-]	C_t	η_i	a	a_1	V_b [m/s]	V_c [m/s]
0.86	0.21	0.30	17.23	0.38	1.63	3.27	2.28	3.69
1.72	0.31	0.28	7.15	0.52	0.93	1.85	3.33	4.93
2.59	0.38	0.26	4.61	0.59	0.68	1.36	4.36	6.14
3.45	0.42	0.25	3.59	0.64	0.57	1.14	5.43	7.40

Fuente: Propia

La reducción del área aguas abajo se debe al principio de continuidad el cual es aplicado en la teoría de Rankine, implicando una relación inversamente proporcional entre la velocidad y área aguas abajo.

$$V_c \cdot \left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) = V_b \cdot \left(\frac{\pi D_b^2}{4} \right) \quad \text{ec (10)}$$

Donde:

D_c : Diámetro de velocidad aguas abajo [m]

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.3 Diámetro velocidad aguas abajo

V_b [m/s]	V_c [m/s]	D_c [m]
2.28	3.69	0.64
3.33	4.93	0.67
4.36	6.14	0.69
5.43	7.40	0.70

Fuente: Propia

2.2.2 Caída de velocidad en timón direccional

El chorro de agua impulsado por la hélice es interrumpido por el timón direccional del barco, observar la figura 2.3. El chorro de agua fluirá alrededor del timón direccional donde se presentarán efectos viscosos cerca de superficie del timón. Se realiza este análisis para estimar cuanto

decrece la velocidad aguas abajo debido a la interacción con el timón direccional.



Figura 2.3 Conjunto hélice y timón direccional

Fuente:(Florida Memory, 1985)

Las herramientas principales a utilizar para determinar la caída de velocidad alrededor del timón direccional son el análisis de capa límite conjunto al número adimensional de Reynolds, observar figura 2.4.

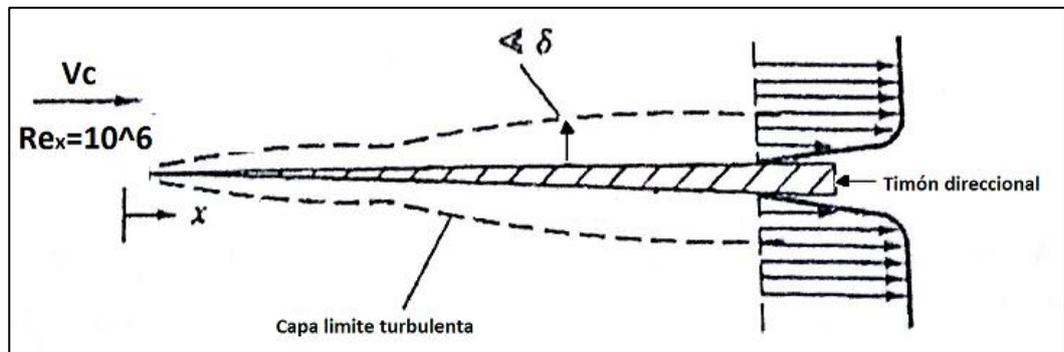


Figura 2.4 Capa límite en timón direccional

Fuente: (White, 2008)

La ecuación para estimar el espesor de capa límite sobre el timón depende de la magnitud del número de Reynolds, se utiliza la ecuación 12 en caso cuyo valor de Reynolds esté entre 10^6 y 10^3 , o la ecuación 13 cuyo valor de Reynolds supere cantidades de 10^6 . Las ecuaciones utilizadas en la sección 2.3 provienen de (White, 2008).

$$Re_x = \frac{\rho \cdot V_c \cdot x}{\mu} \quad \text{ec (11)}$$

$$\frac{\delta}{x} = \frac{5.0}{\text{Re}_x^{1/2}}; 10^3 < \text{Re} < 10^6; \quad \text{ec (12)}$$

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0.16}{\text{Re}_x^{1/7}}; 10^6 < \text{Re}_x; \quad \text{ec (13)}$$

Donde:

δ : Espesor de capa límite [m]

x: Longitud de timón direccional [1m]

ρ : Densidad de agua [1011.5 kg/m³]

μ : Viscosidad de agua [0.001002 kg/m-s]

V_c : Velocidad aguas abajo [m/s]

Re_x : Número de Reynolds [-]

Los valores de capa límite, δ , están estimados de ser de pequeñas magnitudes principalmente debido a las grandes magnitudes del número de Reynolds, en el caso que el espesor de capa límite sea inferior al 10% del radio del codo (37.5 cm) se despreciarán los efectos de caída de velocidad debido al timón direccional.

Donde:

δ vs R_c : Diferencia porcentual entre espesor de capa límite y radio del codo.

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.4 Espesor de capa límite en timón direccional

V_c [m/s]	$\text{Re}_x (10^6)$	δ [m]	δ [mm]	δ vs R_c [%]
3.68	3.81	0.0184	18.4	4.90
4.92	5.09	0.0176	17.6	4.69
6.13	6.34	0.0171	17.1	4.56
7.39	7.65	0.0166	16.6	4.42

Fuente: Propia

2.2.3 Cálculo de fuerzas y momento sobre el codo

Un volumen y superficie de control se realizan sobre en el codo guía para utilizar el teorema de transporte de Reynolds con fin de calcular las fuerzas resultantes que actúan sobre el codo, en el respectivo análisis se debe aclarar que nuestro fluido es estacionario e incompresible, debido a que la masa del volumen de control y su densidad no varían con respecto al tiempo. En la figura 2.5 se observan las fuerzas de superficie y fuerzas de volumen que actúan sobre el codo, a su vez estas fuerzas resultantes son las mismas utilizadas sobre el sistema de sujeción del codo. Las ecuaciones utilizadas en la sección 2.2.3 provienen de (White, 2008). El codo guía tiene una velocidad de ingreso igual y salida a la velocidad aguas abajo, V_c , debido a que las áreas de ingreso y salida de fluido poseen las mismas dimensiones.

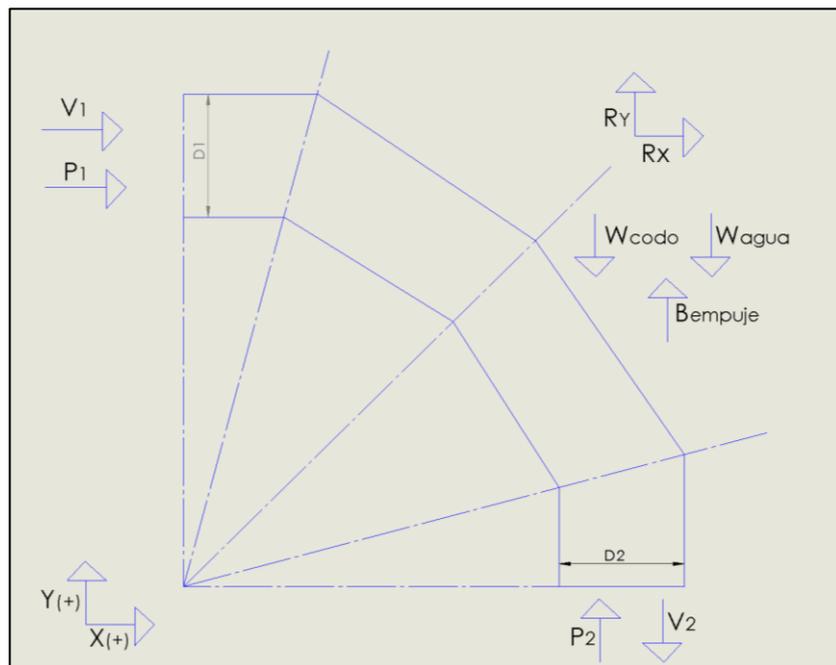


Figura 2.5 Fuerzas en codo

Fuente: Propia

Observando la figura 2.5, se realiza un análisis de las fuerzas actuantes en el eje X para determinar la reacción R_x . La ecuación 14 muestra las fuerzas actuantes en el respectivo eje, y la velocidad de ingreso (V_1)

coincide con la velocidad aguas abajo de la hélice ya que no se considera caída de velocidad en la interacción agua-timón.

$$R_x + (P_1 \cdot A_1) = -(\rho \cdot A_1 \cdot V_1) \cdot V_1 \quad \text{ec (14)}$$

Donde:

R_x : Fuerza ejercida en codo en eje X [N]

P_1 : Presión de ingreso de fluido [Pa]

A_1 : Área de ingreso de fluido [0.44 m²]

ρ : Densidad de fluido [1011.5 kg/m³]

V_1 : Velocidad de fluido ingresando al codo [V_c m/s]

La figura 2.5 sirve para determinar la reacción R_y ecuación 15 determina la reacción R_y . Al ser un codo con las mismas áreas de ingreso y salida y utilizando el principio de continuidad, la velocidad de ingreso (V_1) es la misma de salida (V_2).

$$R_y - W_{\text{codo}} - W_{\text{agua}} + B_{\text{empuje}} + (P_2 \cdot A_2) = -(\rho \cdot A_2 \cdot V_2) \cdot V_2 \quad \text{ec (15)}$$

Donde:

R_y : Fuerza ejercida en codo eje Y [N]

W_{codo} : Fuerza debido al peso del codo [2217.8 N]

W_{agua} : Fuerza debido al peso debido al fluido en el codo [7747.5N]

B_{empuje} : Fuerza de empuje debido al codo [281.6 N]

P_2 : Presión de salida del fluido [Pa]

A_2 : Área de salida del fluido [0.44 m²]

V_2 : Velocidad de salida del fluido [V_c m/s]

Para el cálculo del momento ejercido sobre el codo, T_a , se utiliza figura 2.5 para determinar las fuerzas que ejercen un momento, se aclara que el brazo de giro principal es 0.80 m y el brazo de giro este situado en la línea de acción del peso de codo y peso de agua con fin que estas 2 fuerzas mencionadas no ejerzan un momento.

$$T_a + (P_1 \cdot A_1 \cdot H_1) - (P_2 \cdot A_2 \cdot H_2) = \rho \cdot A_1 \cdot V_1((H_2 \cdot V_2) - (H_1 \cdot V_1)) \quad \text{ec (16)}$$

Donde:

T_a : Momento ejercido sobre el codo [N-m]

P_1 : Presión de ingreso del fluido [Pa]

A_1 : Área de ingreso de fluido [0.44 m²]

H_1 : Distancia perpendicular entre brazo de giro e ingreso de fluido [0.80m]

P_2 : Presión de salida del fluido [Pa]

A_2 : Área de salida del fluido [0.44 m²]

H_2 : Distancia perpendicular entre brazo de giro y salida del fluido [0.33m]

ρ : Densidad de fluido [1011.5 kg/m³]

Finalmente se espera que las fuerzas resultantes que actúan sobre el codo, R_x y R_y , sean proporcionales a la velocidad de avance. Además se espera que en magnitud R_x sea mayor que R_y , debido a que en la reacción en Y, R_y , existen fuerzas como el empuje del codo y la caída de presión que restan la magnitud en el eje Y.

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.5 Fuerzas y momento sobre el codo

V_c [m/s]	P_1 [KPa]	P_2 [KPa]	R_x [KN]	R_y [KN]	T_a [KN-m]
3.68	6.84	5.68	-9.07	-1.11	-6.15
4.92	12.24	10.16	-16.22	-5.62	-10.95
13	19.00	15.77	-25.18	-14.07	17.00
7.39	27.62	22.92	-36.60	-24.85	-24.17

Fuente: Propia

2.2.4 Espesor de codo

El diseño del espesor se realiza la norma ASME B31.3, el espesor mínimo lo conforma un espesor inicial y un espesor debido a efectos corrosivos. Se determina el espesor de codo para asegurar que a las presiones de trabajo el codo no falle, las presiones de trabajo son las máximas aplicadas en el codo, las cuales coinciden en la sección 2.2.3. Las ecuaciones utilizadas esta sección provienen de (ASME B31.3, 2002).

El espesor es calculado con de las ecuaciones (ASME B31.3, 2002).

$$I = \frac{4(R_1 / D) - 1}{4(R_1 / D) - 2} \quad \text{ec (17)}$$

$$t = \frac{P_1 D}{2[(SE / I) + PY]} \quad \text{ec (18)}$$

Donde:

I: Coeficiente I [-]

R₁: Radio efectivo de codo [1.125m]

D: Diámetro de codo [0.75 m]

t: Espesor inicial de codo [mm]

P₁: Presión de ingreso del fluido [MPa]

S: Esfuerzo permisible del material [MPa]

E: Efectividad de soldadura [-]

Y: Coeficiente de material [-]

Las variables S, Y y E mencionadas en la ecuación 18, se encuentran en las siguientes tablas.

Tabla 2.6 Esfuerzos permisible de aceros

Nombre de material	Esfuerzo de tensión [MPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo permisible [MPa]
ASTM-A36	399.89	248.21	121.34
ASTM-A283 B	344.73	186.15	105.48
ASTM-A285 C	379.21	206.84	126.17
ASTM-A516 Gr 70	482.63	262	160.64

Fuente: (ASME B31.3, 2002)

Tabla 2.7 Coeficiente Y para aceros

Tipo de material	Coeficiente Y
Acero ferrítico	0.4
Acero austenítico	0.4
Otros materiales dúctiles	0.4
Fundiciones	0

Fuente: (ASME B31.3, 2002)

Tabla 2.8 Eficiencia en juntas

Tipo de junta	Eficiencia de la junta E		
	Radiografía total	Examinada en zonas	No examinada
Junta a tope con doble cordón con tira de respaldo	1.00	0.85	0.70
Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo	-	-	0.60

Fuente: (ASME B31.3, 2002)

Las tablas 2.6, 2.7 y 2.8 sirven de referencia para guiarse en la selección de esas constantes, sin embargo en el diseño del codo se utilizará acero ASTM A-36 y una soldadura a tope con doble cordón con tira de respaldo y será examinada por zonas y no en su totalidad. El espesor adicional por factores de corrosión y erosión (c), la norma específica un espesor entre 0.5 y 1 mm. (ASME B31.3, 2002). Finalmente se obtiene el espesor mínimo.

$$t_m = t + c \quad \text{ec (19)}$$

En caso de que el espesor diseñado sea menor de 2 mm, se escogerá una plancha de 3 mm o superior, ya que en espesores inferiores de 2 mm existen problemas con la soldadura. (ASME B31.3, 2002)

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.9 Espesor de codo

V_c [m/s]	P_1 [Pa]	t_m [mm]
3.68	6875.20	1.04
4.92	12290.49	1.05
6.135	19037.62	1.08
7.39	27620.21	1.12

Fuente: Propia

2.3 Estimación de velocidad de impacto en lecho del río

El agua, saliente del codo de 90°, viajará verticalmente hacia el lecho del río, donde dependiendo la velocidad de impacto del agua el sedimento se erosionará. Se utilizará un programa computacional para simular lo que sucede cuando el agua saliente del codo se fusiona con la corriente de marea del río. Se realizará en un plano bidimensional donde existirán dos ingresos en el volumen de control, ver figura 2.6. El primer ingreso es horizontal y se debe al perfil de velocidad de corriente del río, el segundo ingreso es vertical que representa la salida de agua del codo (V_2). Las variable de altura H , se determina mediante las tablas de marea (INOCAR, 2016) y se sustrae dos cantidades de altura, una debido al calado de la embarcación y otra debido a la sumersión del codo.

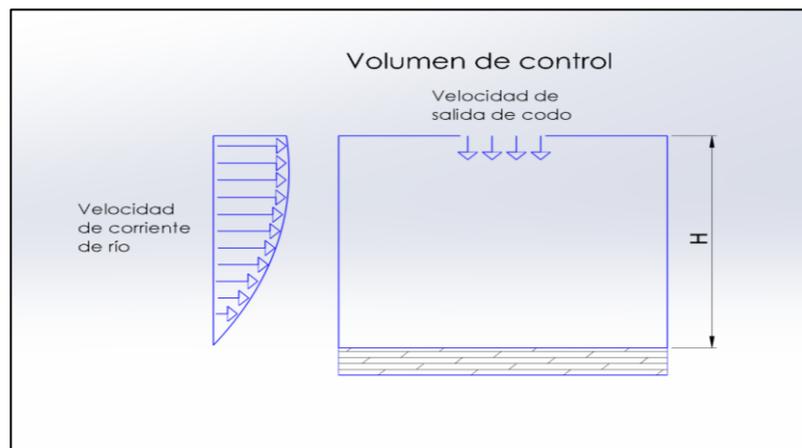


Figura 2.6 Análisis de volumen de control

Fuente: Propia

El perfil de velocidad de corriente del río obedece la siguiente ecuación. (Chanson, 2004).

$$\frac{V}{V_{\max}} = \left(\frac{y}{H} \right)^{1/7} \quad \text{ec (20)}$$

Donde:

V: Velocidad [m/s]

V_{\max} : Velocidad de corriente [m/s]

H: Altura de marea [m]

y: Altura seleccionada [m]

En la siguiente tabla se observa el comportamiento de la altura H y la velocidad de corriente de marea con respecto al periodo de 6 horas.

Tabla 2.10 Altura y velocidad de corriente del río

Tiempo [hr]	Altura de marea [m]	Velocidad de corriente [m/s]
1	4.53	0.55
2	3.86	0.89
3	3.19	1
4	2.53	0.90
5	1.86	0.58

Fuente: (INOCAR, 2016) (Consultores Vera y Asociados, 2014)

Se espera que en la primera etapa de la simulación no se consiga la velocidad de impacto mínima (1 m/s) debido al nivel de altura presente, las velocidades de impacto mínimas se alcanzarían a partir la segunda hora de operación. El perfil parabólico de velocidad de corriente no pudo ser compilado en el programa computacional, sin embargo se ingresó el perfil constante de velocidad de corriente indicado en la tabla 2.10. Se desea que la velocidad en el lecho del río, parte inferior de la figura 2.7 y 2.8, supere las magnitudes de 1 m/s y esta velocidad se puede observar en la gama de colores en la parte derecha de las figuras 2.7 y 2.8.

Obteniendo como resultado:

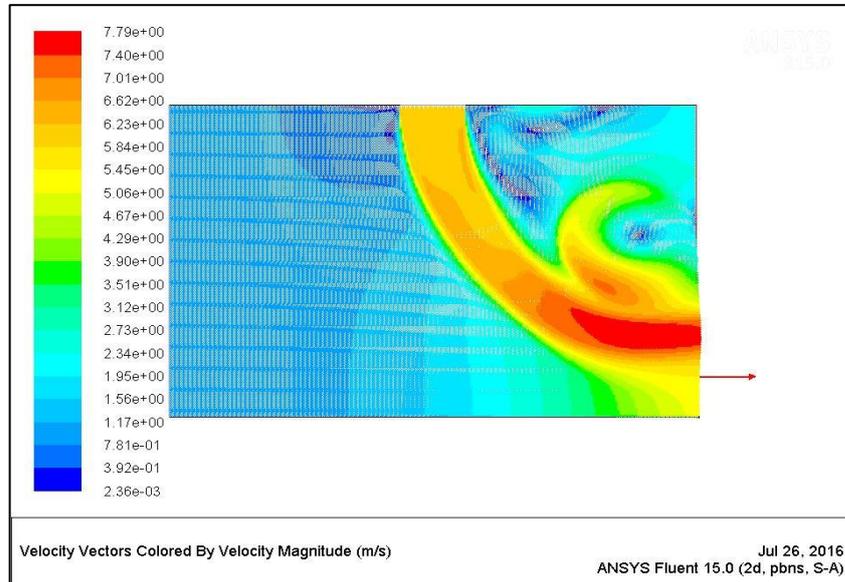


Figura 2.7 Simulación CFD, $V_{\max}= 0.55$ m/s y tiempo= 1 hr
Fuente: ANSYS Fluent 15.0
Elaboración propia

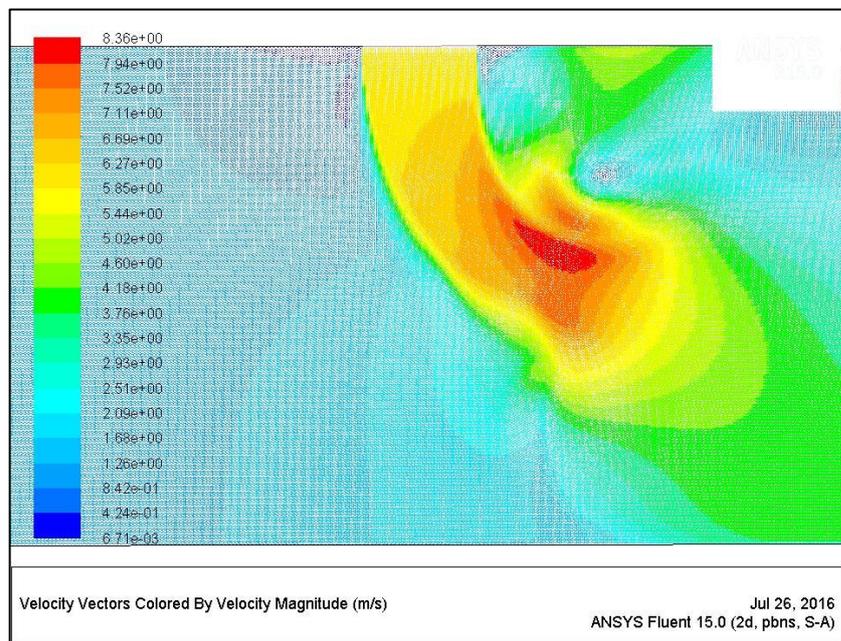


Figura 2.8 Simulación CFD, $V_{\max}= 1$ m/s y tiempo= 3 hr
Fuente: ANSYS Fluent 15.0
Elaboración propia

2.4 Sistema de sujeción e izaje

El sistema de sujeción e izaje será acoplado al espejo del barco, observar figura 1.8. Cuando el mismo se encuentra operando los esfuerzos los soporta el elemento de sujeción y el mecanismo de izaje será un cable de izaje responsable de izar el sistema cuando este ya no se utilice.

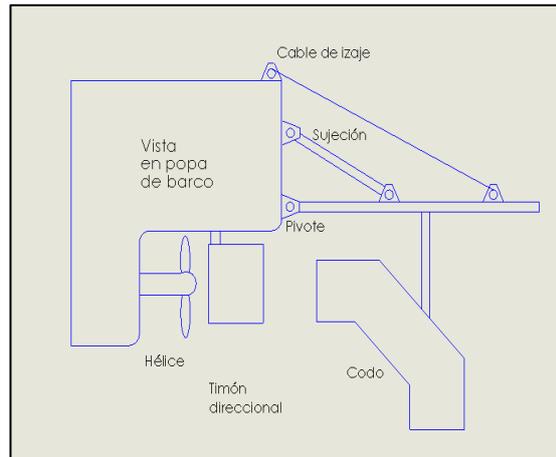


Figura 1.8 Diseño de forma

Fuente: Propia

La figura 1.7 muestra que el sistema tendrá tres elementos, el primer elemento es la viga es responsable de permitir el movimiento rotacional, el segundo elemento es un eje que permite la fijación del sistema y el tercer elemento un cable de izaje junto a un winche los cuales permiten el funcionamiento del sistema de izaje.

2.4.1 Viga principal

Se realiza un diagrama de cuerpo libre sobre la viga principal, ver figura 2.9, donde se calculan las fuerzas y momentos máximos ejercidos, para así seleccionar un tipo de viga disponible que soporte dichos esfuerzos en el momento de operación del sistema. En la viga actúan las fuerzas R_x , R_y y T_a que son las ejercidas por el codo. Utilizando la ecuación 21 se calculan los esfuerzos máximos de la viga además la viga será diseñada con un factor de seguridad fatiga de 2 para asegurar los esfuerzos

aplicados, ver ecuación 25. Las ecuaciones utilizadas en la sección 2.4.1 provienen de (Shigleys, 2011)

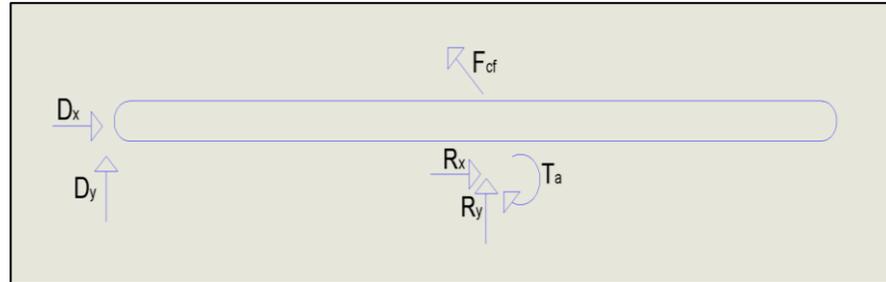


Figura 2.9 Diagrama de cuerpo libre de viga principal

Fuente: Propia

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{S_x} \quad \text{ec (21)}$$

Donde:

D_x : Reacción en espejo eje X [85.62 KN]

D_y : Reacción en espejo eje Y [-24.17 KN]

F_{cf} : Reacción debido al eje de sujeción [69.32 KN]

P: Máxima carga axial [N]

σ_{\max} : Esfuerzo máximo sobre viga [MPa]

A: Área de viga [mm^2]

M: Momento máximo aplicado [N-m]

S_x : Módulo de sección con respecto a eje X [mm^3]

Considerando el sistema como ciclo repetido, debido a que las fuerzas máximas ocurren al momento de operación, los esfuerzos mínimos serán 0. Haciendo que las componente de esfuerzo alternativo y medio sean iguales, esto se observa en las ecuaciones 22 y 23. En la viga existen esfuerzos combinados, sin embargo la zona crítica en las alas de la viga el esfuerzo cortante es cero, por ende el esfuerzo máximo de von mises es representado en la ecuación 21.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \text{ec (22)}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \text{ec (23)}$$

Donde:

σ_{\max} : Esfuerzo máximo sobre viga [MPa]

σ_{\min} : Esfuerzo mínimo sobre viga [MPa]

σ_a : Esfuerzo alternativo sobre viga [MPa]

σ_m : Esfuerzo medio sobre viga [MPa]

Previa la determinación del factor de seguridad de la viga se procede a calcular el límite de resistencia a la fatiga corregido, S_e , utilizando la ecuación 24. Donde intervienen coeficientes de corrección de carga, temperatura, tamaño, superficie y confiabilidad.

$$S_e = C_{car} \cdot C_{tamaño} \cdot C_{sup} \cdot C_{temp} \cdot C_{confi} \cdot S_e' \quad \text{ec (24)}$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en eje [MPa]

C_{car} : Coeficiente de carga [1]

$C_{tamaño}$: Coeficiente de tamaño [-]

C_{sup} : Coeficiente de superficie [0.921]

C_{temp} : Coeficiente de temperatura [1]

C_{confi} : Coeficiente de confiabilidad [0.814]

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga [200 MPa]

Los valores de coeficientes mencionados se obtienen de la referencia bibliográfica (Norton, 2011).

Con la obtención del esfuerzo alternativo, medio y el límite de resistencia a la fatiga corregido, se procede a dimensionar una serie de vigas que satisfagan el factor de seguridad preestablecido.

$$\eta_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad \text{ec (25)}$$

Donde:

η_f : Factor de seguridad [-]

Se espera que la viga a seleccionar entre la viga IPN, IPE y HEB, sea la IPN debido a su menor peso en comparación el resto tipo de vigas. Las vigas al ser estandarizadas puede ser que la escogida no presente un factor de seguridad 2 sin embargo valores se aceptaron valores con un $\pm 10\%$ del valor establecido.

Obteniendo como resultado:

Tabla 2.11 Factor de seguridad para vigas utilizadas

Tipo de Viga	η_f	Peso [kg/m]
IPN 280	1.9	48.0
IPN 300	2.27	54.2
IPE 300	1.83	49.1
IPE 330	2.29	57.1
HEB 200	1.98	61.3
HEB 220	2.50	71.5

Fuente: Propia

2.4.2 Eje de sujeción

El eje de sujeción es responsable de mantener al conjunto codo-viga principal fijo, la viga está articulada al espejo del barco gracias al eje de sujeción. Se realiza un análisis de la fuerzas sobre el eje de sujeción, observar figura 2.10, para determinar las fuerzas máximos con fin de dimensionar el diámetro mínimo del eje que soporte los esfuerzos máximos aplicados. Las ecuaciones de la sección 2.4.2 provienen de (Norton, Diseño de máquinas. Un enfoque integrado, 2011) y (Shigleys, 2011).

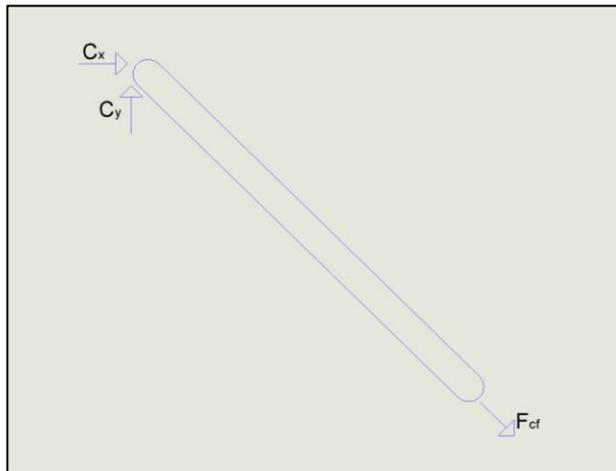


Figura 2.10 Fuerzas actuantes en eje de sujeción
Fuente: Propia

Utilizando el procedimiento de la sección 2.4.1 se realiza un análisis de falla por fatiga considerando principalmente la fuerza de tensión F_{cf} para determinar el diámetro mínimo del eje de sujeción con fin de tener un factor de seguridad de 2. Con la ecuación 26 se procede a calcular el esfuerzo máximo en tensión en el eje de sujeción.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{cf}}{\frac{\pi}{4}d^2} \quad \text{ec (26)}$$

Donde:

σ_{\max} : Esfuerzo máximo en tensión de eje [MPa]

F_{cf} : Máxima tensión [69.32 KN]

d: Diámetro de eje [mm]

El esfuerzo alternativo y medio sobre el eje son iguales ya que el esfuerzo mínimo es cero, observar en las ecuaciones 27 y 28, esto se debe a que el eje de sujeción actúa únicamente cuando el sistema se encuentra operativo, en caso contrario el pin de la junta articulada del eje es removido para que el sistema de izaje cumpla su función.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \text{ec (27)}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \text{ec (28)}$$

Donde:

σ_{\max} : Esfuerzo máximo sobre eje [MPa]

σ_{\min} : Esfuerzo mínimo sobre eje [MPa]

σ_a : Esfuerzo alternativo sobre eje [MPa]

σ_m : Esfuerzo medio sobre eje [MPa]

Previa la determinación del diámetro del eje, es necesario determinar límite de resistencia a la fatiga corregido para el eje, S_e , observar ecuación 29. En el cual intervienen coeficientes de carga, tamaño, superficie, temperatura y confiabilidad para el eje.

$$S_e = C_{car} \cdot C_{tamaño} \cdot C_{sup} \cdot C_{temp} \cdot C_{confi} \cdot S_e' \quad \text{ec (29)}$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en eje [MPa]

C_{car} : Coeficiente de carga [0.7]

$C_{tamaño}$: Coeficiente de tamaño [$1.18 (d^{-0.097})$]

C_{sup} : Coeficiente de superficie [0.921]

C_{temp} : Coeficiente de temperatura [1]

C_{confi} : Coeficiente de confiabilidad [0.814]

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga [200 MPa]

El factor de seguridad para el diseño del respectivo elemento se lo observa en la ecuación 30.

$$\eta_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad \text{ec (30)}$$

Donde:

η_f : Factor de seguridad [-]

Realizando el cálculo de encontrar la incógnita siendo esta el diámetro con un factor de seguridad de 2 se obteniendo como resultado un eje sólido de acero ASTM A-36 de 35 mm mínimo de diámetro.

2.4.3 Diseño de junta articulada

Los elementos tales como la viga y el eje, son unidos al espejo del barco mediante juntas articuladas. Las juntas articuladas, observar figura 2.11, son diseñadas mediante teoría de falla estática para soportar esfuerzos de tensión, cortantes y aplastamiento.

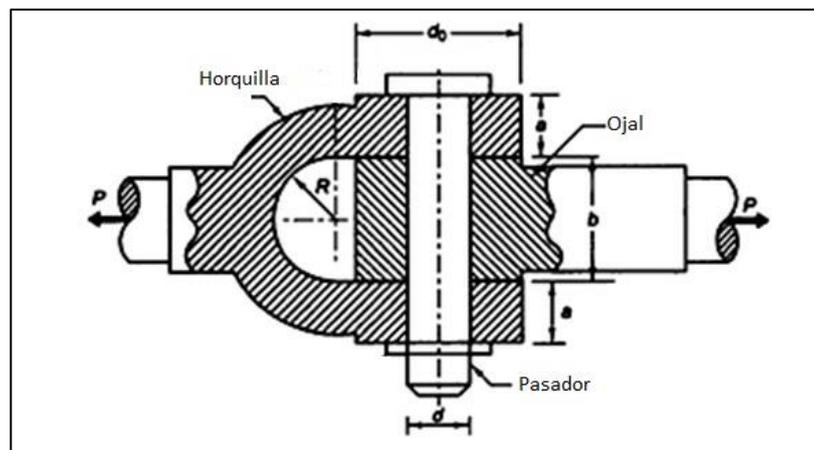


Figura 2.11 Componentes de junta articulada

Fuente: (Courses, 2014)

El esfuerzo crítico, para el diseño de la junta, se determina utilizando la fuerza máxima aplicada en el sistema, sea esta en la viga principal, eje de sujeción o en las reacciones del espejo del barco. Se considera aceptable el diseño de horquilla cuando los esfuerzos en la horquilla, pasador y ojal no sobrepasan los esfuerzos admisibles. Las ecuaciones de esfuerzo por tensión, aplastamiento y cortante para el ojal y la horquilla se muestran a continuación, además las ecuaciones utilizada provienen de (Courses, 2014). La fuerza máxima se encuentra aplicada en la reacción que une la viga principal al espejo del barco (85.62 KN).

Ecuaciones para esfuerzos en ojal.

$$\sigma_t = \frac{P}{b(d_o - d)} \quad \text{ec (31)}$$

$$\sigma_c = \frac{P}{b \cdot d} \quad \text{ec (32)}$$

$$\tau = \frac{P}{b(d_o - d)} \quad \text{ec (33)}$$

Donde:

σ_t : Esfuerzo de tensión [MPa]

σ_c : Esfuerzo de aplastamiento [MPa]

τ : Esfuerzo cortante [MPa]

P: Fuerza axial [85.62 KN]

b: Espesor de ojal [mm]

d_o : Diámetro exterior del ojal [mm]

d: Diámetro de pasador [mm]

Ecuaciones para esfuerzos en horquilla.

$$\sigma_t = \frac{P}{2a(d_o - d)} \quad \text{ec (34)}$$

$$\sigma_c = \frac{P}{2a \cdot d} \quad \text{ec (35)}$$

$$\tau = \frac{P}{2a(d_o - d)} \quad \text{ec (36)}$$

Donde:

σ_t : Esfuerzo de tensión [MPa]

σ_c : Esfuerzo de aplastamiento [MPa]

τ : Esfuerzo cortante [MPa]

a: Espesor de cada horquilla [mm]

d_o : Diámetro exterior del ojal [mm]

d: Diámetro de pasador [mm]

Los esfuerzos previamente mencionados tanto del ojal como la horquilla, no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles para asegurar que las juntas no fallaran por tensión, compresión o aplastamiento.

$$\sigma_{ta} = \frac{S_{yt}}{fs} \quad \text{ec (37)}$$

$$\sigma_{ca} = \frac{S_{yc}}{fs} \quad \text{ec (38)}$$

$$\tau_a = \frac{S_{sy}}{fs} \quad \text{ec (39)}$$

Donde:

σ_{ta} : Esfuerzo de tensión admisible [125 MPa]

σ_{ca} : Esfuerzo de aplastamiento admisible [75 MPa]

τ_a : Esfuerzo cortante admisible [72.12 MPa]

S_{yt} : Esfuerzo de fluencia de tensión [250 MPa]

S_{yc} : Esfuerzo de fluencia de compresión [150 MPa]

S_{sy} : Esfuerzo de fluencia cortante, (0.577 S_{yt}) [144.25MPa]

fs: Factor de seguridad [2]

Obteniendo como resultado las principales medidas de la horquilla y ojal.

Tabla 2.12 Medidas principales de horquilla y ojal

Descripción	Dimensión [mm]
Espesor del ojal (b)	46.07
Espesor de cada horquilla (a)	33.17
Diámetro del pin (d)	36.87
Diámetro exterior del ojal y horquilla (d_o)	73.74

Elaboración: Propia

2.4.4 Soldadura en junta articulada

Cuatro juntas articuladas del sistema serán soldadas en el espejo de la embarcación, viga principal y eje secundario. Se diseña la soldadura a aplicar con la carga máxima del sistema, factor de diseño estático de 3 y soldadura alrededor del elemento. Se determinará la garganta mínima de

soldadura para que el elemento soldado soporte los esfuerzos aplicados. El elemento crítico es considerado el ojal de la junta inferior del espejo del barco, ya que en esa junta existen las mayores fuerzas y el ojal tiene menores dimensiones que la horquilla. Con las ecuaciones 40, 41, 42 y las dimensiones del ojal (resultado sección 2.4.3) se calculan los esfuerzos cortantes que existen en la base del ojal y finalmente utilizando la ecuación 43 se logra determinar el espesor mínimo de garganta de soldadura, h. (Shigleys, 2011)

$$\tau = \frac{F_o}{1.414h(l + d_{oj})} \quad \text{ec (40)}$$

$$\tau' = \frac{P}{1.414h(l + d_{oj})} \quad \text{ec (41)}$$

$$\tau'' = \frac{M(l/2)}{0.707h\left(\frac{l^2}{6}(3d_{oj} + l)\right)} \quad \text{ec (42)}$$

$$n = \frac{0.57S_{sye}}{\left((\tau)^2 + (\tau')^2 + (\tau'')^2\right)^{1/2}} \quad \text{ec (43)}$$

Donde:

τ' : Esfuerzo cortante [MPa]

F_o : Fuerza cortante en ojal [85.62 KN]

P: Fuerza axial en ojal [-24.17 KN]

h: Espesor de garganta soldada [mm]

l: Ancho del ojal [46.07 mm]

d_{oj} : Largo del ojal [73.74 mm]

M: Momento aplicado debido a fuerza F_o [3852.9 N-m]

τ'' : Esfuerzo cortante secundario [MPa]

n: Factor de seguridad [3]

S_{sye} : Esfuerzo fluencia de soldadura E7013 [393Mpa]

Se espera que la garganta de soldadura calculada sea de espesores mayores a 4 mm. En caso de ser espesores inferiores se procederá por

recomendación a soldar las juntas con un espesor de garganta de 5 mm (Ringegni, 2013)

La garganta (h) mínima de soldadura en la base del ojal diseñada para soportar los esfuerzos máximos posee magnitud 18.16 mm.

2.4.5 Cable de izaje y winche

Se realiza el diseño del cable de izaje ya que este elemento es el responsable de izar el sistema. Las variables a considerar para el diseño del cable son la carga aplicada en tensión, F_t , y el factor de seguridad. La ecuación 44 representa las variables a utilizar con fin de determinar un factor de seguridad apropiado de acorde la aplicación, la tabla 2.13 muestra los valores típicos de factores de seguridad para ciertas aplicaciones. (Shigleys, 2011)

$$n = \frac{\left(E_r \cdot 0.38d^2 \cdot \frac{d_w}{D} \right)}{F_t} \quad \text{ec (44)}$$

Donde:

n: Factor de seguridad [5]

E_r : Módulo de Young para cables metálico [14 Mpsi]

d_w : Diámetro de los alambres [in]

D: Diámetro de polea o malacate [in]

d: Diámetro nominal del cable [in]

F_t : Carga aplicada en tensión [2411.90 lbf]

Tabla 2.13 Factores de seguridad de cables en aplicaciones

Aplicación	Factor de seguridad mínimo
Minería	7
Izaje	5
Acarreo	5
Grúas	6
Elevadores manuales	5

Fuente: (Shigleys, 2011)

La carga aplicada en tensión será considerada como el peso muerto del sistema, lo cual incluye codo y viga principal. Se hace esta consideración debido a que el sistema de izaje opera cuando en el codo no existen fuerzas ejercidas por el fluido en movimiento es decir la hélice no gira. La relación d_w/D tiene valores que varían dependiendo la aplicación, para elevadores y montacargas se toma de 800 a 1000, si el valor es inferior a 200 las cargas pesadas pueden causar deformaciones permanentes en el cable. La tabla 2.14 muestra datos de cables metálicos estándar y está diseñada para relación d_w/D de 400.

Tabla 2.14 Datos de cables metálicos estándar

Cable	Diámetro mínimo de malacate [in]	Tamaños estándares de cable d [in]	Material de cable	Módulo de elasticidad [Mpsi]
De arrastre de 6 x 9	42d	¼ a 1¼	Acero monitor	14
			Acero de arado	14
De izaje de 6 x 19	26d-34d	¼ a 1¼	Acero monitor	12
			Acero de arado	12
Flexible especial de 6 x 37	18d	¼ a 1¼	Acero monitor	11
			Acero de arado	11
Extra flexible de 8 x 19	21d-26d	¼ a 1¼	Acero monitor	10
			Acero de arado	10

Fuente: (Shigleys, 2011)

Se espera que el cable a 6 x 9, el cual se utilizará, posea un tamaño entre el rango de la tabla mostrada, en caso de ser un diámetro menor se escoge uno entre el rango y disponible en el mercado nacional. El cable de izaje diseñado es un cable de arrastre de 6 x 9 de acero monitor con un diámetro de 0.98 in.

La selección del winche depende del diámetro del malacate y de la carga de izaje. La segunda columna de la tabla 2.14 muestra el diámetro mínimo del malacate, se recomienda un diámetro mínimo (Carl Stahl SAVA INDUSTRIES, 2006) debido que en diámetros inferiores la cuerda soportará más esfuerzos al

ser enrollada alrededor del malacate. La carga de izaje es la misma carga en tensión debida al peso muerto de la del sistema (1083.12Kg) el cual involucra el peso del codo, viga, agua dentro del codo y la resta del peso debido al empuje por la sumersión del codo. Obteniendo como resultado un winche con las siguientes capacidades:

Tabla 2.15 Capacidades de winche neumático

Parámetros técnicos	
Capacidad de izaje	2000 [Kg]
Velocidad de izaje	30.1 m/min
Diámetro mínimo de cable	9.5 mm
Diámetro de malacate	400 mm
Potencia de motor	12 KW
Presión de trabajo	0.8 MPa

Fuente: (ProWinch)

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la sección de análisis de resultados se analizan y comentan los resultados si eran los esperados o existió algún inconveniente en el proceso de obtención de los mismos. Se utilizan tablas de resultados obtenidas en el capítulo 2 o nuevas tablas de resultados las cuales indican resultados puntuales obtenidos.

3.1 Codo guía

3.1.1 Velocidad y diámetro aguas abajo de hélice

Los resultados de la velocidad y diámetro aguas abajo de la hélice se presentan en las siguientes tablas. La tabla 3.1 representa la velocidad aguas abajo (V_c). Se observa el aumento de la velocidad aguas abajo conforme aumenta la velocidad de avance (V_a), pero además se nota que este aumento no es uniforme. A menor velocidad de avance existe un aumento mayor de velocidad aguas abajo. Este resultado era el esperado debido a que en la curva operacional de la hélice se aprecia cómo al aumentar el coeficiente de avance (J), el coeficiente de empuje decrecía (K_t) y a su vez decrecía la velocidad aguas abajo, observar en la tabla 2.2.

Tabla 3.1 Velocidad aguas abajo de hélice

V_a [m/s]	V_c [m/s]
0.86	3.68
1.72	4.92
2.59	6.13
3.45	7.39

Fuente: Propia

La tabla 2.3 muestra como varía el diámetro aguas abajo (D_c) con respecto a las velocidades en la hélice (V_b) y aguas abajo (V_c). Este resultado fue el esperado ya que si se observa la ecuación 10, se aprecia el aumento de diámetro aguas abajo debido a que es proporcional a la

relación V_b/V_c y esta relación aumenta conforme aumenta la velocidad de avance de la embarcación.

Tabla 2.3 Diámetro velocidad aguas abajo

V_b [m/s]	V_c [m/s]	D_c [m]
2.28	3.69	0.64
3.33	4.93	0.67
4.36	6.14	0.69
5.43	7.40	0.70

Fuente: Propia

3.1.2 Caída de velocidad en timón direccional

La caída de velocidad del agua se debe principalmente a efectos viscosos cortantes debido a la interacción del agua con el timón. La tabla 2.4, muestra como varía el espesor de capa límite con la velocidad aguas abajo que en este caso es la velocidad de ingreso del fluido y el número de Reynolds a dicha velocidad. Se observa un comportamiento inversamente proporcional entre la velocidad de ingreso con el espesor de capa límite. Los espesores de capa límite en la tabla 2.4 representa una magnitud inferior al 10% del radio del codo seleccionado. Se desprecia la caída de velocidad debido a los espesores despreciables de capa límite que ocurren en el timón direccional.

Tabla 2.4 Espesor de capa límite en timón direccional

V_c [m/s]	$Re_x (10^6)$	δ [m]	δ [mm]	δ vs R_c [%]
3.68	3.81	0.0184	18.4	4.90
4.92	5.09	0.0176	17.6	4.69
6.13	6.34	0.0171	17.1	4.56
7.39	7.65	0.0166	16.6	4.42

Fuente: Propia

3.1.3 Fuerzas y momento sobre el codo

Las fuerzas y momento ejercido sobre el codo se calcularon con las velocidades de entrada y salida del fluido. En la tabla 3.2, se observa las magnitudes de fuerzas y momento ejercido sobre el codo. Se obtuvo el resultado previsto donde la reacción en el eje X fue mayor que el eje Y, principalmente debido a que en la reacción en Y existen fuerzas que

contrarrestan la resultante por ejemplo el empuje y la presión de trabajo (P_2) es inferior a la utilizada en la reacción en X (P_1) debido a la caída de presión. Se observa la tendencia creciente de las fuerzas y momentos a medida que aumenta la velocidad de ingreso. El sentido negativo en las magnitudes indica que la fuerza y momento ejercido es dirección opuesta a la establecida en el marco de referencia, como se observa en la figura 2.5.

Tabla 3.2 Fuerzas y momento sobre el codo

V_c [m/s]	R_x [KN]	R_y [KN]	T_a [KN-m]
3.68	-9.07	-1.11	-6.15
4.92	-16.22	-5.62	-10.95
6.135	-25.18	-14.07	-17.00
7.39	-36.60	-24.85	-24.17

Fuente: Propia

3.1.4 Espesor de codo

El espesor de codo fue determinado indirectamente con la velocidad de ingreso del fluido, ya que esta ejerce una presión hidrodinámica sobre el codo. La tabla 2.9, muestra los espesores finales del codo, el espesor final máximo no supera la magnitud de 1.5 mm. Esto sucedió ya que las presiones hidrodinámicas no ejercían una presión considerable sobre el codo. Por recomendación de la norma se procede a utilizar un espesor superior o igual a 3 mm.

Tabla 2.9 Espesor de codo

V_c [m/s]	P_1 [Pa]	t_m [mm]
3.68	6875.20	1.04
4.92	12290.49	1.05
6.13	19037.62	1.08
7.39	27620.21	1.12

Fuente: Propia

3.2 Estimación de velocidad de impacto

Las situaciones críticas ocurren al principio y a la mitad de la vaciante. Al principio ya que la altura entre la salida del codo y el lecho es la mayor de

todas y a la mitad debido a que el flujo de corriente es máximo, ver referencia en la tabla 2.10. A pesar de esto se obtuvieron resultados favorables, la tabla 3.3, muestra con que velocidad de embarcación se logra la velocidad de impacto mínima para la erosión del sedimento, dependiendo la hora con respecto al inicio de la vaciante.

Tabla 3.3 Velocidad de navío para lograr erosión de sedimento

Hora a partir del inicio de la vaciante [hr]	Velocidad de embarcación [kn]	Velocidad de embarcación [m/s]
1	8	4.1
2	6	3.1
3	6	3.1
4	4	2.1
5	4	2.1

Fuente: Propia

Las figuras 2.7 y 2.8 muestran la simulación CFD de lo ocurrido al inicio y mitad de la vaciante respectivamente. En ambas figuras se observa cómo se supera la velocidad mínima de erosión (1 m/s) guiándose en la gama de colores que ocurren en la parte inferior de las figuras que simbolizan el lecho del río. Esto asegura que el sedimento se erosiona y es transportado por efectos de la corriente fluvial.

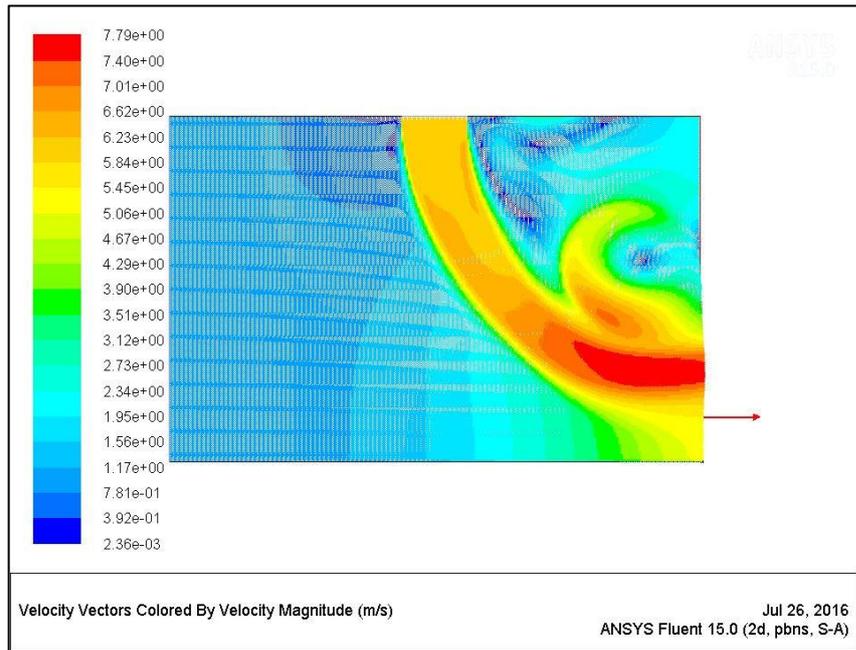


Figura 2.7 Simulación CFD, $V_{\max}= 0.55$ m/s y tiempo= 1 hr
 Fuente: ANSYS Fluent 15.0
 Elaboración propia

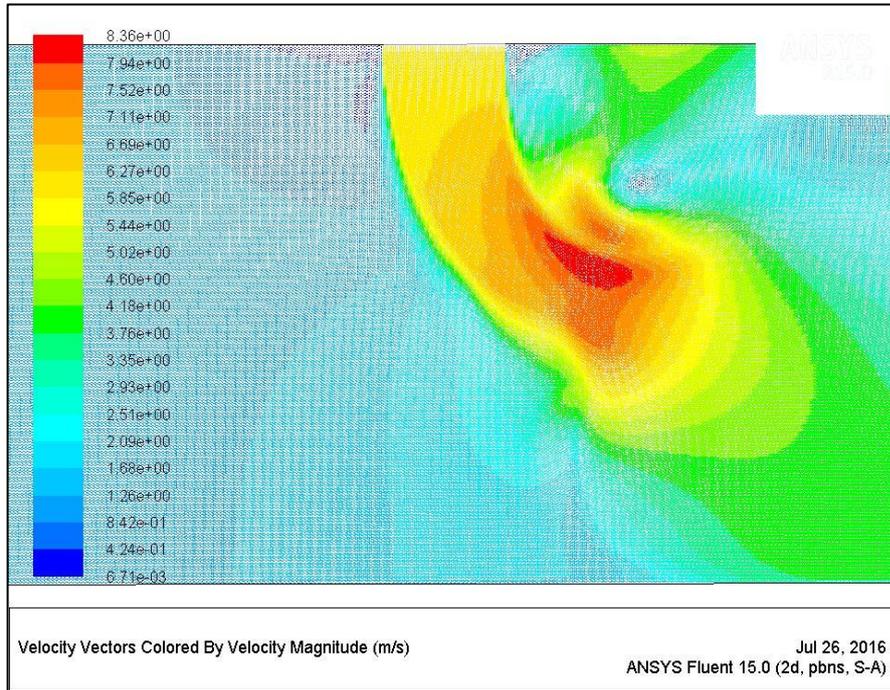


Figura 2.8 Simulación CFD, $V_{\max}= 1$ m/s y tiempo= 3 hr
 Fuente: ANSYS Fluent 15.0
 Elaboración propia

3.3 Diseño de sistema de sujeción e izaje

3.3.1 Selección de viga principal

Se diseñó la viga principal para soportar las máximas fuerzas y momento ejercidos por el codo. En la tabla 2.11, se muestran varias vigas que satisfacen la condición de factor de seguridad de diseño, los factores de seguridad calculados en las vigas no varían más del 20% entre si esto se da ya que las vigas tienen dimensiones similares, tanto de ala como alma, se escoge la viga IPN 280 por tener el menor peso de las vigas disponibles a utilizar.

Tabla 2.11 Factor de seguridad para vigas utilizadas

Tipo de Viga	γ_f	Peso [kg/m]
IPN 280	1.9	48.0
IPN 300	2.27	54.2
IPE 300	1.83	49.1
IPE 330	2.29	57.1
HEB 200	1.98	61.3
HEB 220	2.50	71.5

Fuente: Propia

3.3.2 Diseño de eje de sujeción

El eje de sujeción es responsable de mantener la viga principal en posición fija para que esta conjunto al codo no pivotee. El eje fue diseñado a fatiga con fuerza principal axial, F_{cf} , esta fuerza es de tensión ya que el signo en el diagrama de fuerzas así lo indica, es decir que no existen esfuerzos de compresión en el eje de sujeción. El diámetro mínimo que soporta la fuerza aplicada es de 35 mm con un factor de seguridad de 2.

3.3.3 Junta articulada

La junta articulada es la responsable de unir la viga principal y eje secundario al espejo del barco. La junta fue diseñada con las fuerzas máximas, las cuales suceden en la parte inferior del espejo de la embarcación. La junta articulada está conformada por una horquilla, un

ojal y un pin que une a las dos anteriores (observar planos ilustrativos). Los elementos fueron diseñados a trabajar bajo tensión, compresión y cortante, con un factor de seguridad estático de 3. Las dimensiones más importantes de la horquilla, ojal y perno se aprecian en la tabla 2.12, y en la figura de los elementos de la junta adjuntas en los anexos. Las dimensiones de la junta fueron establecidas para que los esfuerzos no sobrepasen a los esfuerzos admisibles.

Tabla 2.12 Medidas principales de horquilla y ojal

Descripción	Dimensión [mm]
Espesor del ojal (b)	46.07
Espesor de cada horquilla (a)	33.17
Diámetro del pin (d)	36.87
Diámetro exterior del ojal y horquilla (d_o)	73.74

Elaboración: Propia

3.3.4 Soldadura en junta articulada

La unión entre la junta articulada, viga principal, eje de sujeción y espejos de barco es permanente de soldadura. La garganta de soldadura mínima es calculada en el ojal del espejo inferior, ya que existen las mayores fuerzas y el área de garganta es la menor de los elementos soldados. El espesor mínimo de garganta es de 18.16 mm donde será soldado en todo su alrededor.

3.3.5 Cable de izaje y winche

El cable de izaje diseñado tiene un diámetro correspondiente de 0.98 pulgadas, sin embargo se adquirirá un espesor de cable de 1 pulgada. No existe inconveniente en la anterior medida, 1 pulgada, ya que el cable elegido existe comercialmente entre ¾ y 1¼ pulgadas.

El winche fue seleccionado con la carga de tensión que soporta el cable. El winche seleccionado tiene una capacidad de 2000 kg, la carga principal

es debido al peso del agua dentro del codo, esta carga irá disminuyendo a medida que se iza el codo ya el agua dentro de la misma salga del codo. Cabe mencionar que la capacidad del winche seleccionada se encuentre disponible en el mercado. Y los parámetros técnicos del winche neumático se encuentran en la tabla 2.15.

3.4 Análisis de costos

La tabla 3.4, muestra los materiales a utilizar para la fabricación del codo hasta su ensamble. Se observa que como materiales existen 2 planchas de acero ASTM A-36 de 1200 x 2400 de 3mm espesor, 6 metros de viga IPN 280 de acero ASTM A-36, 7.56 litros de pintura marina, eje sólido de acero ASTM A-36 longitud 2000 mm con diámetro 50.8 mm y 0.90 kilogramos de soldadura 6013. Se aclara que con el excedente de las planchas de acero se procede a realizar las juntas articuladas para la sujeción de los elementos al espejo del barco.

Tabla 3.4 Costo de materiales

Descripción	Costo (USD)
2 planchas acero ASTM A-36 de 1200 x 2400 x 3 mm	135.00
6 metros Viga IPN 280 ASTM A-36	285.63
7.56 litros de pintura marina	67.38
Eje sólido ASTM A-36 longitud 2000 mm y diámetro 50.8 mm	93.43
0.9 kilogramos soldadura 6013	15.00
Costo materiales	596.44

Fuente: Propia

La tabla 3.5, relaciona los costos de servicios cotizados para la elaboración e inspección del proyecto. La elaboración del codo incluye el corte de las planchas, doblado y la soldada de los pétalos para formar el codo mitrado, el eje se debe mecanizar ya que el eje estandarizado existe en dimensiones superiores a las requeridas, el servicio de soldadura está presente para fabricar las juntas articuladas, el servicio de pintura se realiza cuando todos

los componentes estén fabricado para prevenir corrosión debido al ambiente de trabajo, un servicio de granallado previa la colocación de pintura para eliminar cualquier rastro de impureza superficial, finalmente el servicio de instalación e inspector de soldadura son requerimientos de norma y para garantizar que el sistema no falle debido a un mal cordón de soldadura o instalación incorrecta.

Tabla 3.5 Costo de servicios

Descripción	Costo (USD)
Elaboración del codo	2265.00
Mecanizado de eje	75.00
Soldador	75.00
Servicio de pintura	55.00
Granallado	400.00
Servicio de instalación	1551.35
Inspector de soldadura	110.26
Costo de servicios	4531.61

Fuente: Propia

La tabla 3.6, contiene la información de costos de equipos necesarios para el funcionamiento del proyecto. Involucra el costo de los equipos y elementos para el izaje del conjunto viga-codo.

Tabla 3.6 Costo de equipos adicionales

Descripción	Costo (USD)
Winche neumático 2000 kg	1824.00
Cable de izaje 6x19, 1in diámetro, 12 metros de longitud	200.00
Costo de equipo	2024.00

Fuente: Propia

El costo total al proyecto no supera la cantidad de 7200 dólares de Estados Unidos (USD, por sus siglas en inglés). El tipo de proyectos de dragado por agitación es conocido por tener un bajo costo de manufactura (Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU., 1985). Sin embargo existen costos los cuales involucran la operación del sistema embarcación, tales como la embarcación, matrícula, seguro, consumo de combustibles. Se espera que los costos relacionados a la operación superen a los de elaboración del codo.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

- El canal de acceso a la ciudad de Guayaquil se ve afectado por su nivel de sedimentación, especialmente el sector conocido como Baja Paola provocando complicaciones económicas y de transporte fluvial. Se diseñó un sistema de dragado por agitación, a través del impulso de la hélice cuyo flujo será direccionado por un codo hacia el fondo del lecho marino, lo cual permitirá generar la velocidad suficiente para erosionar, disgregar y transportar sedimentos en el lecho del río. Este resultado tiene cuatro factores que lo condicionan: los parámetros iniciales de la embarcación, la curva operacional de la hélice, la altura navegable y la velocidad de corriente del río. La velocidad de impacto varía cuando uno de los factores mencionados previamente varía, esto limita el proyecto a ser utilizado en zonas con condiciones específicas o zonas favorables donde la erosión y transporte de sedimento sea posible. Este análisis es una solución para los problemas relacionados a la pérdida de navegabilidad de ríos o canales, especialmente donde existen zonas de calado crítico.
- Existen dos procesos de manufactura del codo, por trazado de calderería y unión de ductos de tubería. Se escogió el trazado de calderería (observar planos ilustrativos) debido a que la manufactura del codo es relativamente simple, ya que con este método no existe el factor limitante del diámetro del codo, como sucede en ductos de tubería que al venir estandarizados los diámetros no se podrá modificar su diámetro y por lo tanto el diseño no sería viable, lo que permite por trazado de calderería obtener un diseño a bajo costo y sencillo al momento de su fabricación.
- La simulación CFD indica que se puede erosionar desde el inicio de la vaciante, sin embargo se operará desde media hora después del inicio de la vaciante hasta media hora antes del fin de la vaciante ya que fuera de este

rango ocurre la estoa haciendo que la velocidad de marea sea cercana a cero y en caso de operar solo facilitará la erosión del sedimento mas no el transporte ya que no existe una velocidad de corriente. Lo que impedirá que el diseño trabaje en determinados periodos de vaciante para un correcto funcionamiento del diseño.

- La junta articulada y el sistema de izaje se diseñaron tomando en cuenta el modo de operación del sistema. Al momento que comience a operar el sistema, el eje de sujeción es el responsable de fijar el sistema mas no el cable de izaje. Cuando culminen las operaciones o cesan las mismas se retira el pin de la junta articulada de la parte superior del espejo de la embarcación y se acciona el sistema de izaje. En caso de no seguir estas las instrucciones de operación, el cable puede sufrir deformaciones permanentes debido a que no fue diseñado para soportar este tipo de cargas. Lo que comprometerá la operación y eficiencia del sistema.

4.2 Recomendaciones

- En la simulación CFD realizada en la sección 2.3, se utilizó un perfil de velocidad constante de entrada de agua mas no el perfil parabólico pre establecido. En caso de querer modelar de forma más real lo que ocurre a la salida del codo y fondo del lecho se debe escribir una función parabólica de velocidad en lenguaje C y compilarla en ANSYS.
- La estructura a realizar posee una viga IPN 280. Al realizar una estructura con más de una viga los esfuerzos se distribuyen en estas haciendo posible la elección de una viga de menores dimensiones. Es recomendable hacer el análisis de costo para 2 vigas de menores dimensiones en comparación con una de dimensión mayor. En caso de ser favorable económicamente utilizar dos vigas.
- Con el excedente de la viga principal se debería realizar dos modificaciones, la primera una estructura en forma de trípode donde las vigas de los

extremos sirvan para evitar movimientos laterales producidos en la viga principal y la segunda utilizar así mismo el excedentes de viga para tener más de una unión entre el codo mitrado a la viga, estas modificaciones se recomiendan para tener más rigidez en el sistema.

- Los servicios de draga por agitación por su complejidad requieren un servicio adicional de batimetría pre y post dragado, los cuales estiman la cantidad de sedimento puesto en suspensión e indirectamente el aumento del calado.

BIBLIOGRAFÍAS

1. ASME B31.3. (2002). *Tuberías de proceso*. Nueva York: Sociedad americana de ingenieros mecánicos.
2. Barts. (s.f.). *Inboard Boat Propeller*. Obtenido de http://www.bartswatersports.com/catalog/Inboard_Boat_Propellers/index.asp
3. Bernitsas, M., Ray, D., & Kinley, P. (Mayo de 1981). *Curvas operacionales para hélices Wageningen*. Ann Arbor.
4. Cámara Marítima del Ecuador. (2013). *Problemas que afectan la navegabilidad del río Guayas*. Guayaquil.
5. Carl Stahl SAVA INDUSTRIES. (2006). Design Guide for Cable Solution. Riverdale, New Jearsey, EE.UU.: www.savacable.com.
6. Carlton, J. (2007). *Marine Propellers and Propulsion*. Burlington: Butterworth-Heinemann.
7. Chanson, H. (2004). *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction*. Oxford, UK: Butterworth Heineman.
8. Consultores Vera y Asociados. (2014). *Estudio de impacto ambiental para el dragado del canal este del islote ubicado río Guayas*. Guayaquil: Secretaría del Agua.
9. Courses, U. (19 de Marzo de 2014). *Design of knucle joints*. Obtenido de Machine Design : <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=125517>
10. Cuerpo de ingenieros del ejército EE.UU. (1985). *Dragado por agitación: Lecciones y guías de proyectos pasados*. Vicksburg, Mississippi.
11. Dercourt, J., & Paquet, J. (1978). *Geología*. Reverte.
12. Drápela, R. L. (2008). *Mareas y Corrientes*. Obtenido de Apuntes de Navegación Costera: <http://navegacion.tripod.com/Apuntes2008/Cap07Mareas.pdf>
13. *Florida Memory*. (8 de octubre de 1985). Obtenido de <https://www.floridamemory.com/items/show/106590>
14. Fondear. (2011). Obtenido de Hélices marinas: Cómo elegir la hélices más apropiada: http://www.fondear.org/infonautic/equipo_y_usos/Equipamiento/Helices/Helices_marinas.htm

15. Garro, R. (2001). *Mareas*. Obtenido de <http://www.paranauticos.com/notas/Tecnicas/Mareas/mareas-definiciones.htm>
16. INOCAR. (24 de 07 de 2016). *Instituto Oceanográfico de la Armada*. Obtenido de www.inocar.mil.ec/web/index.php/tabla-de-mareas
17. INOCAR. (1 de Agosto de 2016). *instituto Oceanográfico de la Armada*. Obtenido de *Tabla de mareas puertos del Ecuador*: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/tabla-mareas>
18. iSailor, T. (2010).
19. Lewis, E. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume II Resistance, Propulsion and Vibration*. Jersey City, NJ: Society of Naval Architects and Marine Engineers.
20. Marina de Guerra del Perú. (2016). *Mareas*. Obtenido de Dirección de Hidrografía y Navegación: <https://www.dhn.mil.pe/mareas>
21. Norton. (2011). *Diseño de Máquinas, Un enfoque integrado*. Mexico: Pearson.
22. Norton. (2011). *Diseño de máquinas. Un enfoque integrado*. Mexico: Pearson.
23. ProWinch. (s.f.). Obtenido de <http://prowinch.cl/buscar.php?from=1&tipoz=97>
24. Rada, F. (1986). *Morfología y Sedimentación del sistema estuarino Estero Salado-Río Guayas*. Guayaquil: Acta Oceanográfica del Pacífico.
25. Ringegni, P. (2013). *Mecanismos y Elementos de Máquinas*. Obtenido de Cálculo de uniones soldadas: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Uniones%20soldadas%20sexta%20edicion%202013.pdf>
26. Sector marítimo de ingeniería naval. (10 de mayo de 2013). Obtenido de <https://sectormaritimo.es/diez-sistemas-de-propulsion-usados-en-el-mundo-naval>
27. Shigleys. (2011). *Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw Hill.
28. Soledispa, B. (2002). *Estudio de los sedimentos del sector donde convergen los ríos Daule y Babahoyo, y las posibles causas que están formando un nuevo islote en ese sector*. Guayaquil: ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO.
29. Suárez. (2010). *Muelle de Servicio Isla Santay, Estudios y Diseños*. Guayaquil: Ministerio del Ambiente.
30. Técnicas de dragado. (2012). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5971/04.pdf?sequence=5>
31. White, F. (2008). *Mecánica de Fluidos*. Mexico: Mc Graw Hill.

32. Wolfgang, G. (2 de Agosto de 2016). *Geología General*. Obtenido de Apuntes Geología general: Ambiente sedimentario : <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05-4.htm>

ANEXO A

CURVA OPERACIONAL DE HÉLICE

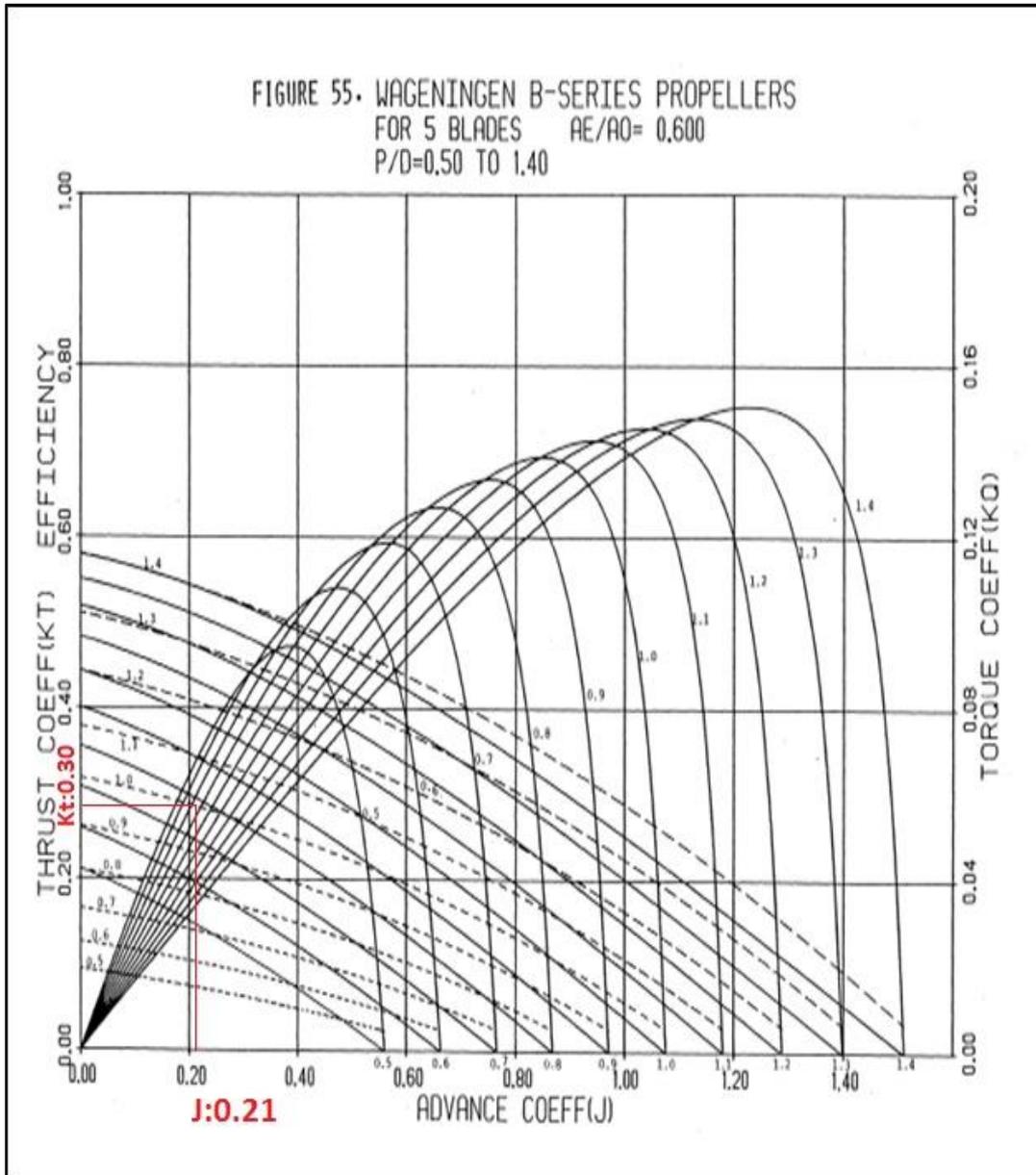


Figura 5.1 Curva operacional de hélice

Fuente: (Bernitsas, Ray, & Kinley, 1981)

ANEXO B

SECTOR BAJA PAOLA

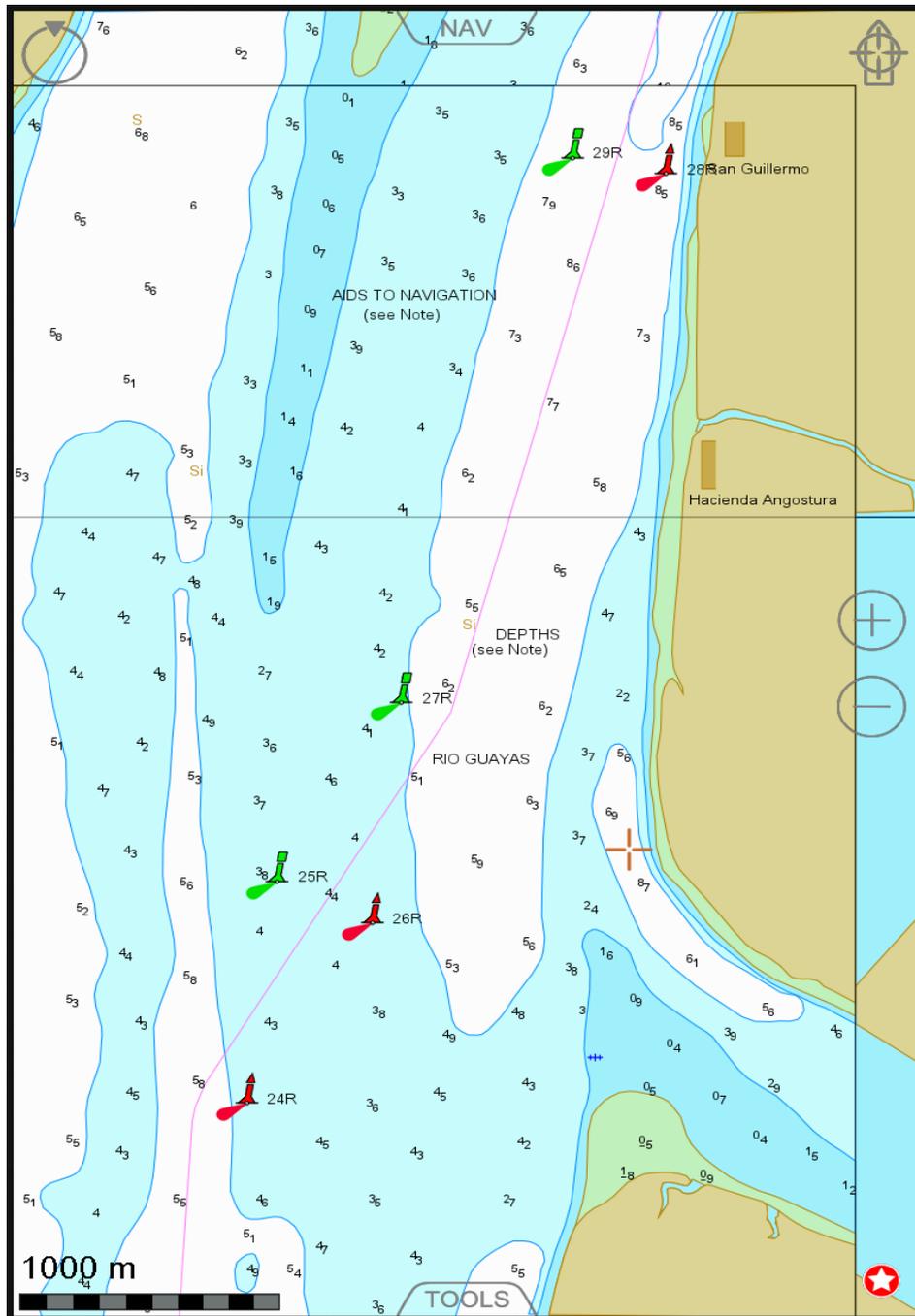


Figura 5.2 Carta aproximación de Baja Paola

Fuente: (iSailor, 2010)

El sector de Baja Paola está comprendido entre las boyas 24R y 29R.

ANEXO C

MAREAS

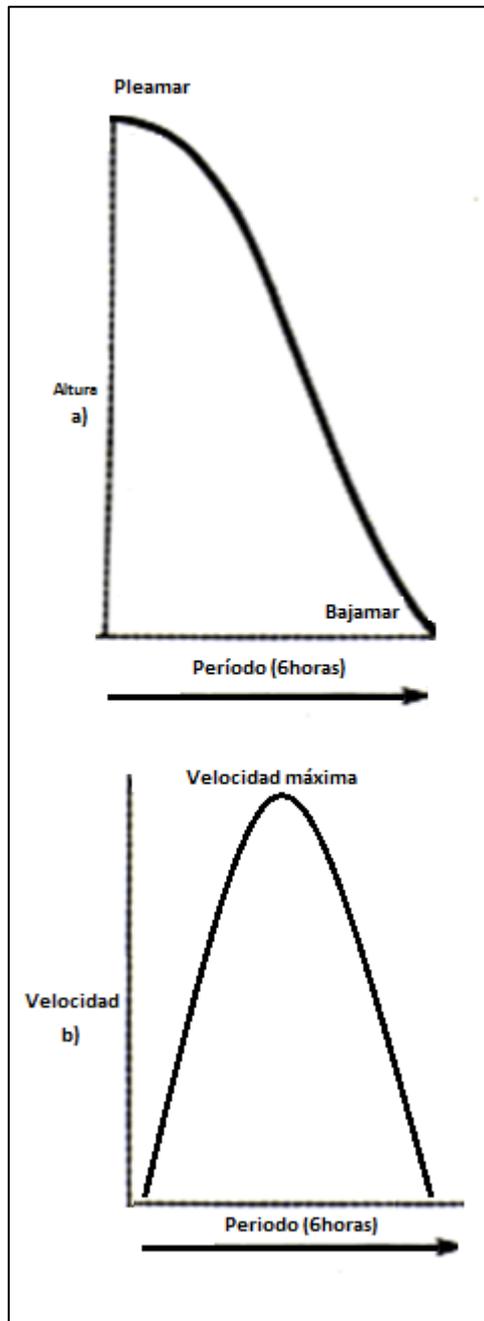
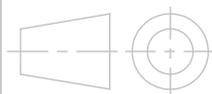
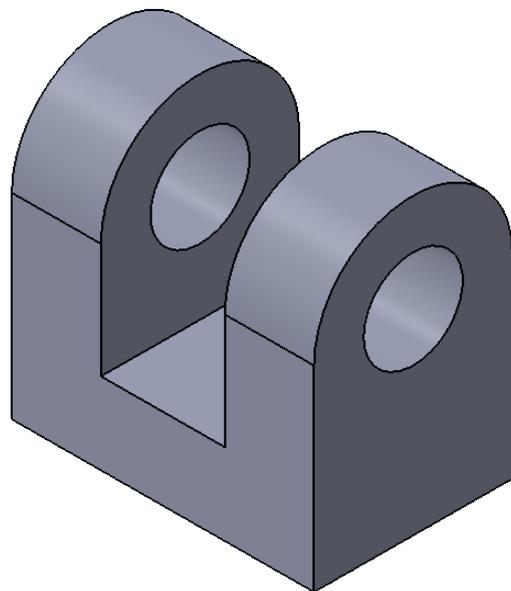
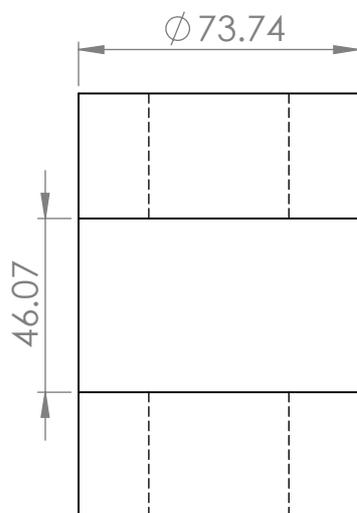
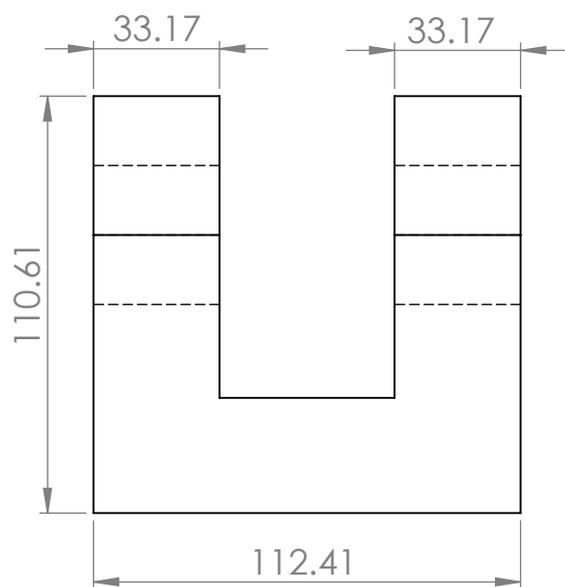
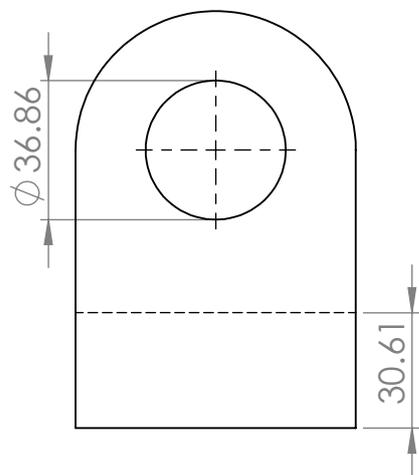


Figura 5.3 Mareas
Fuente: Propia



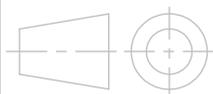
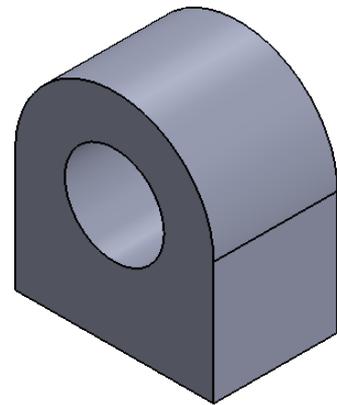
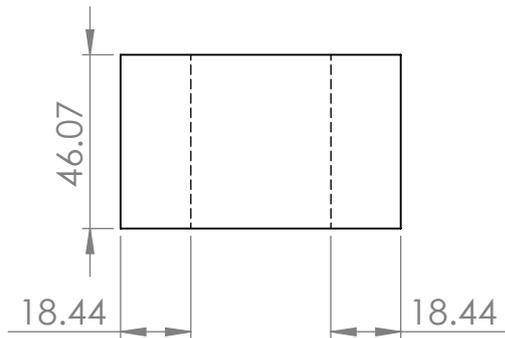
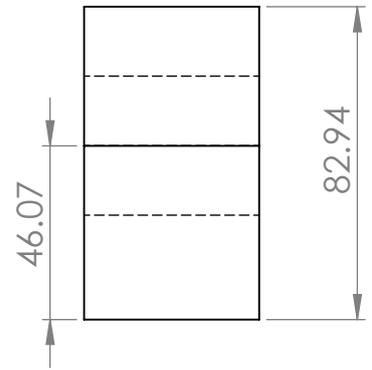
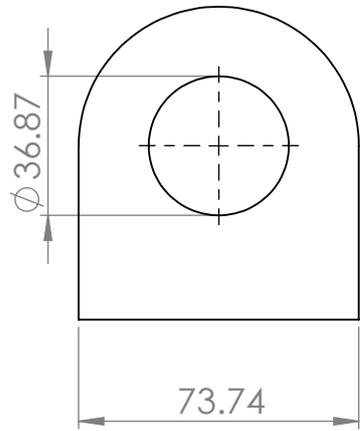
Dibujado por:	Nombre	Fecha
	Mino J	19/08/2016

ESPOL

Escala: 1:1

Horquilla

No.



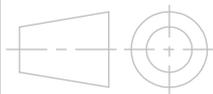
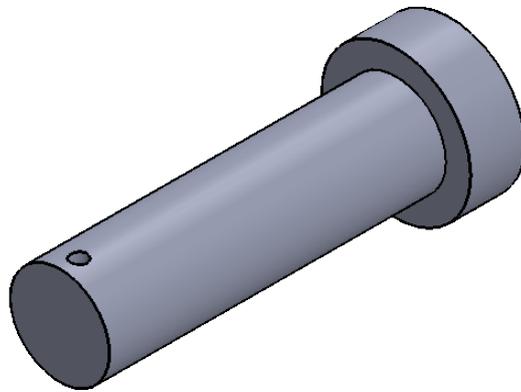
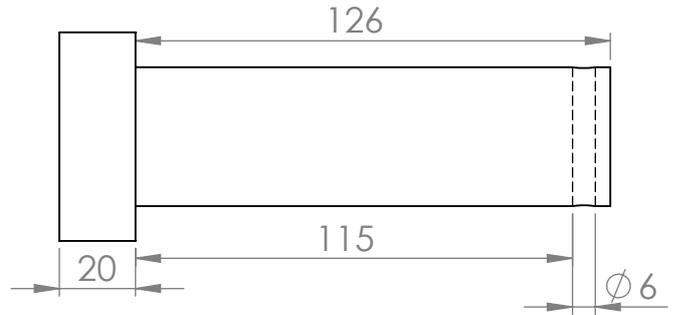
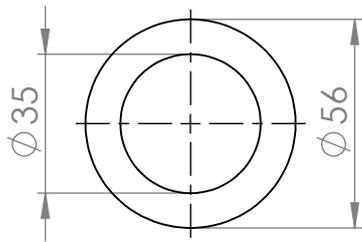
Dibujado por:	Nombre	Fecha
	Mino J.	16/08/2016

ESPOL

Escala: 1:1

OJAL

No.



Dibujado por:	Nombre	Fecha
	Mino J.	16/08/2016

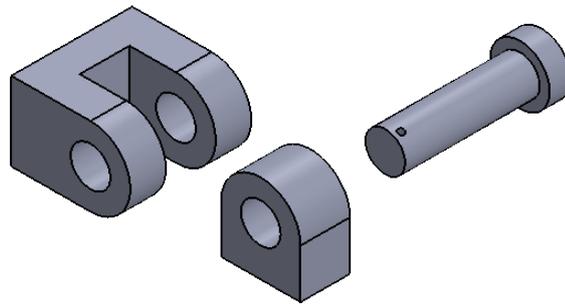
ESPOL

Escala: 1:1

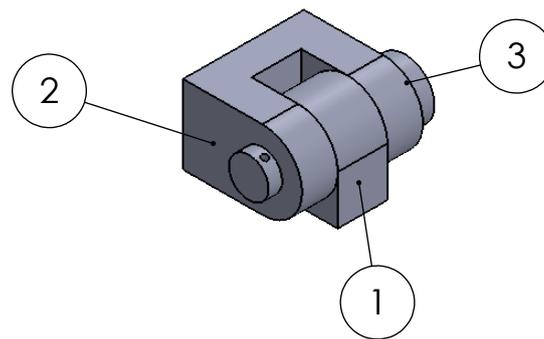
PIN

No.

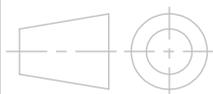
Vista explosionada



Vista de ensamble



ITEM NO.	Elemento	Cantidad
1	ojal	1
2	Horquilla	1
3	pin	1



Dibujado por:

Nombre
Mino J

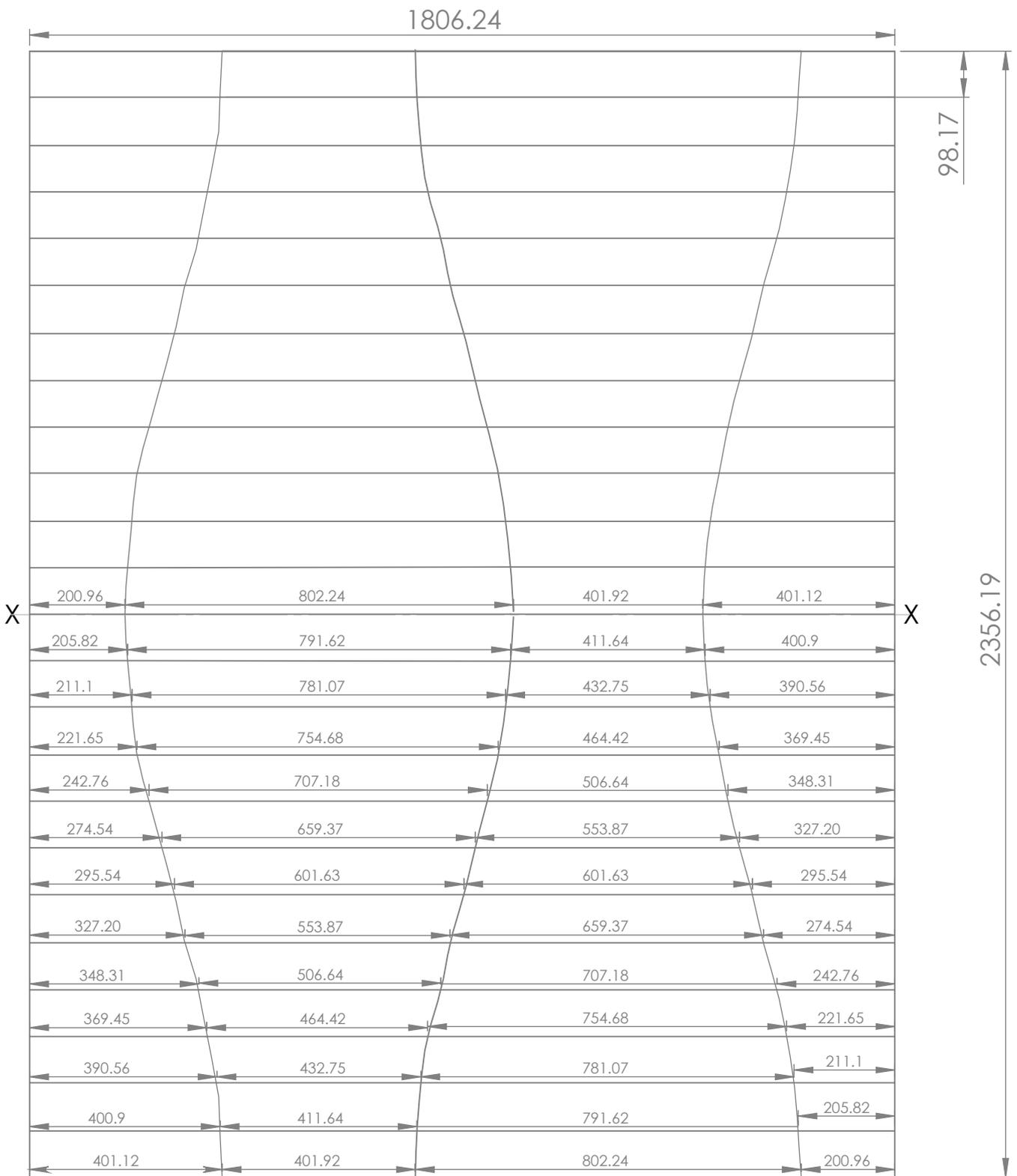
Fecha
19/08/2016

ESPOL

Escala: 1:1

Ensamble y vista explosionada de junta articulada

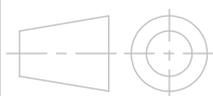
No.



Notas:

Plano de calderería simétrico en eje X-X

Separación vertical uniforme de 98.17 mm



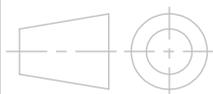
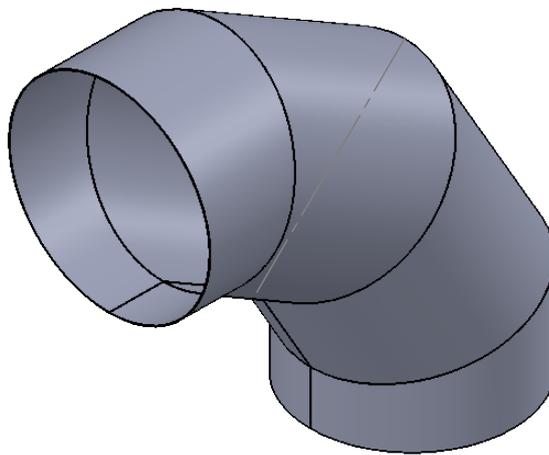
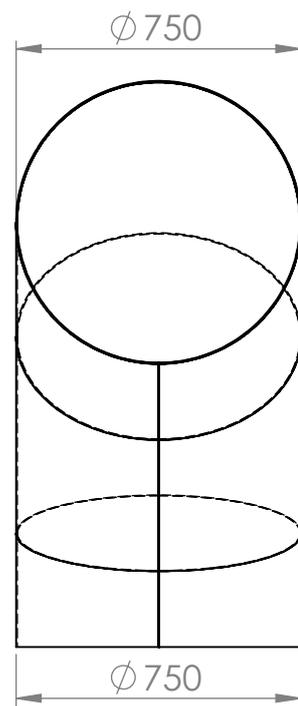
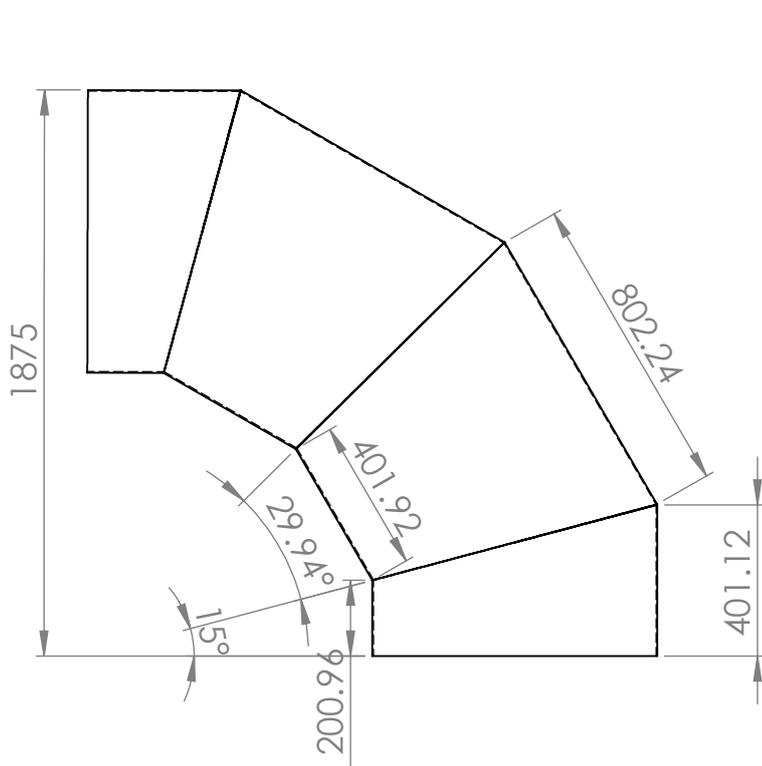
Dibujado por:	Nombre	Fecha
	Mino J.	18/08/2016

ESPOL

Escala: 1:1

Calderería de codo

No.



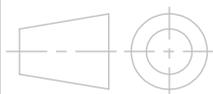
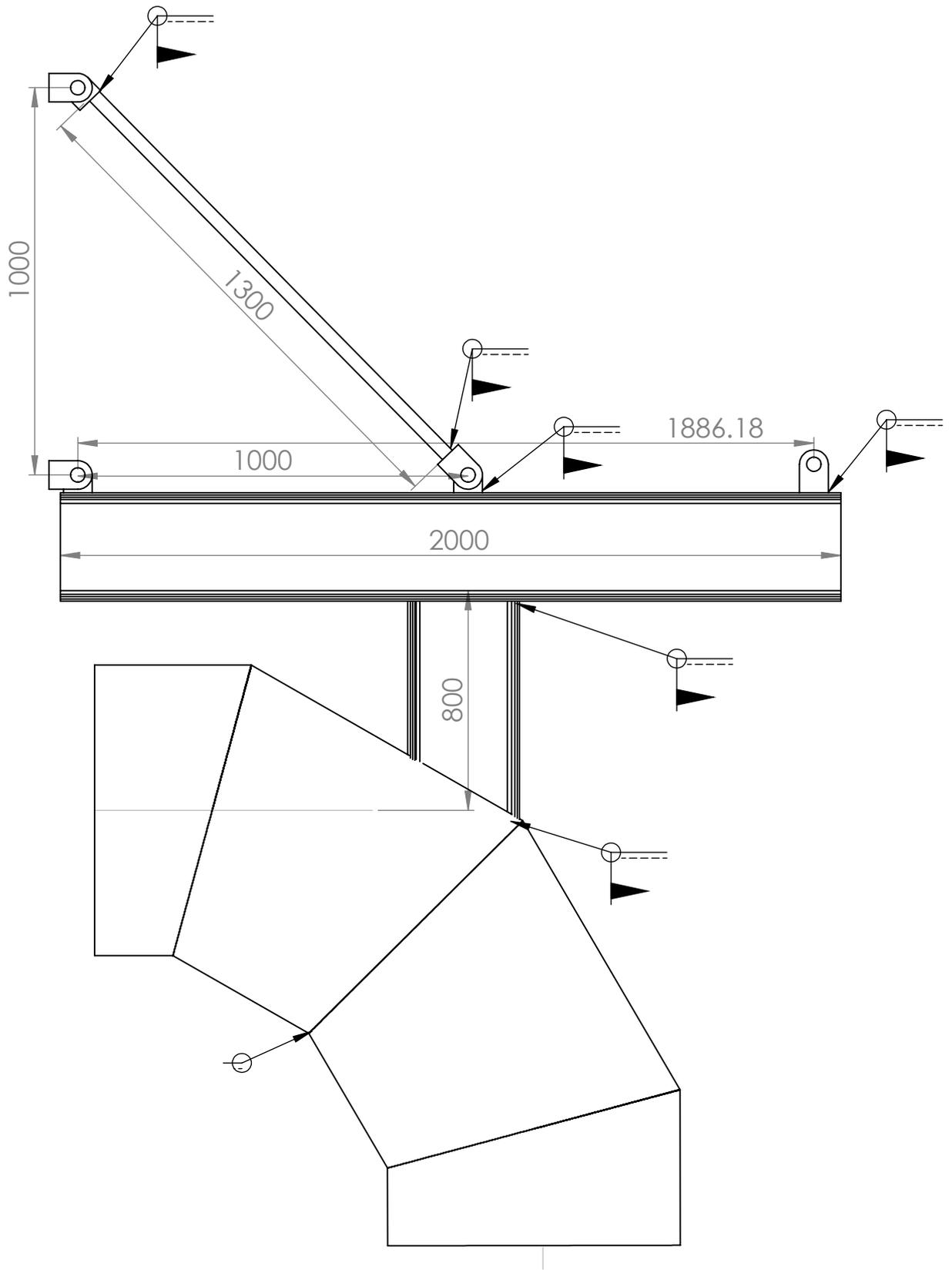
Dibujado por:	Nombre Mino J.	Fecha 18/06/2016
---------------	-------------------	---------------------

ESPOL

Escala: 1:1

CODO 90 °

No.



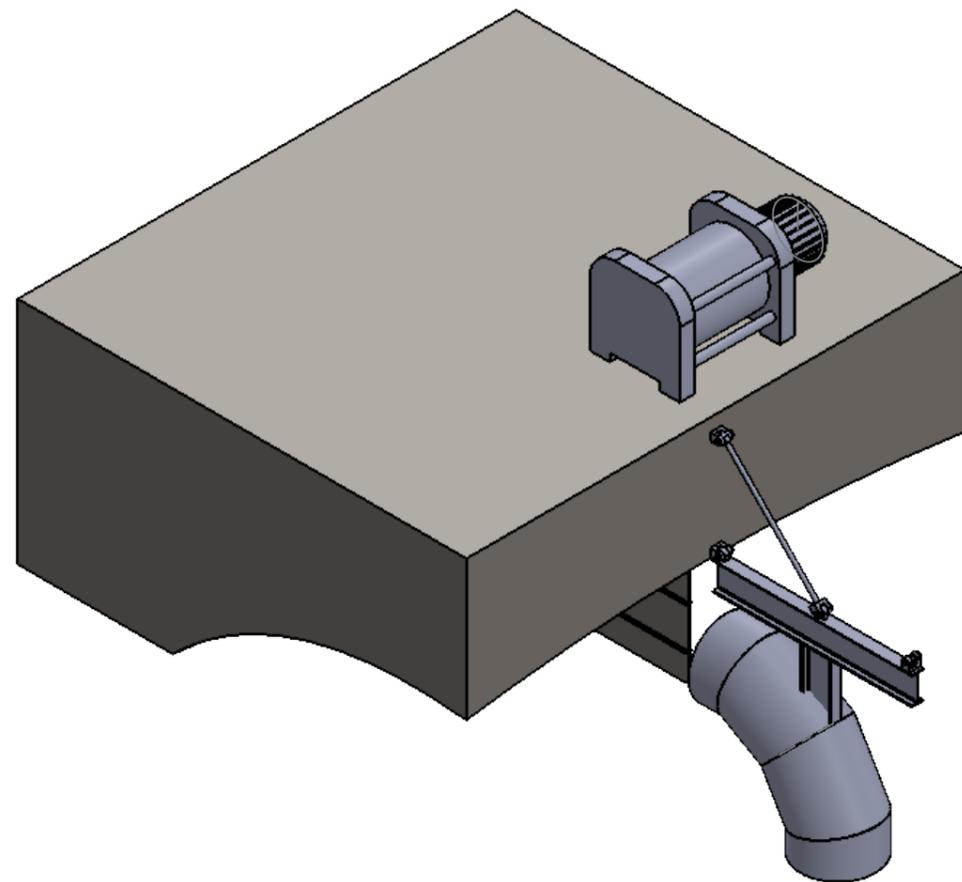
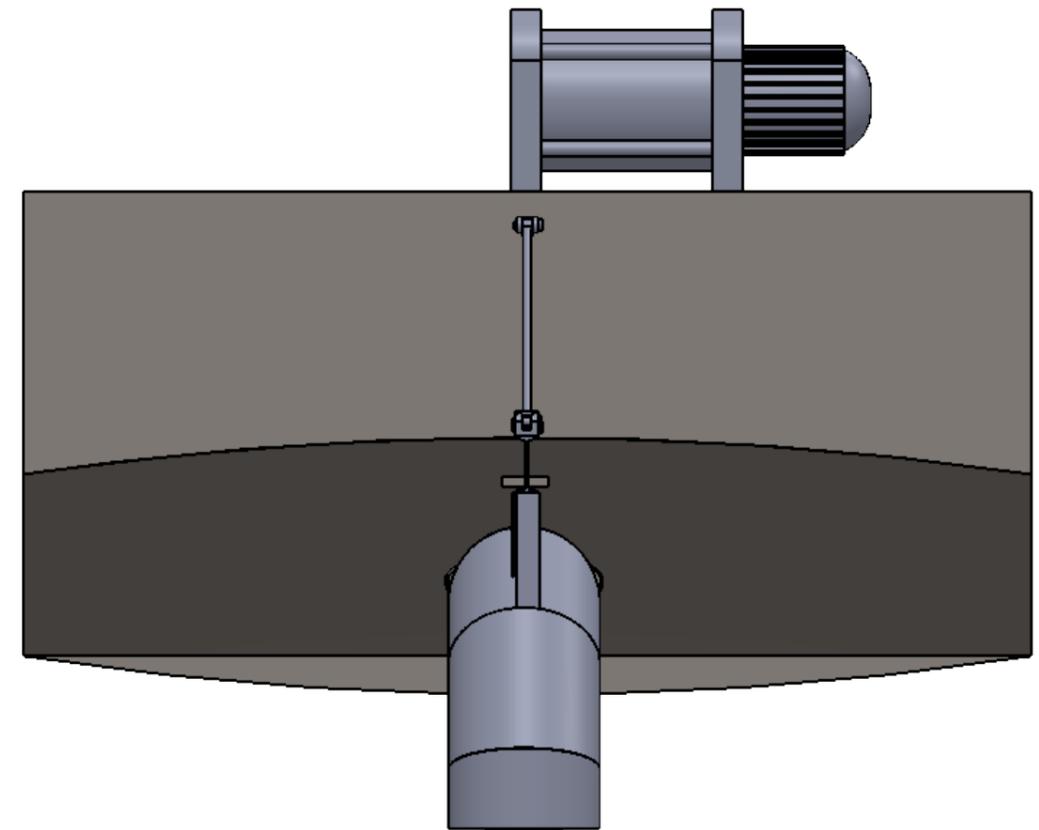
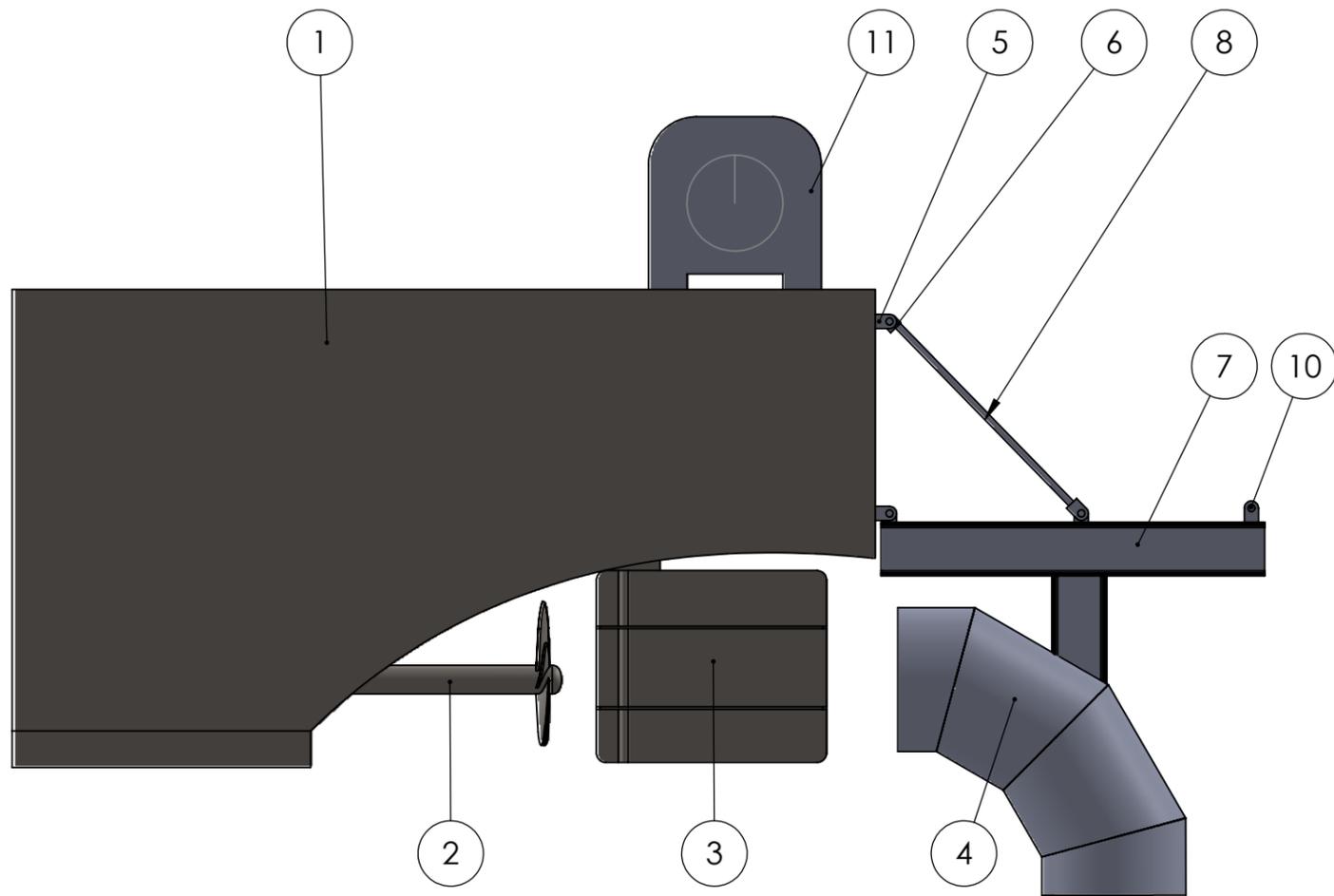
Dibujado por:	Nombre Mino J	Fecha 19/08/2016
---------------	------------------	---------------------

ESPOL

Escala: 1:1

Ensamble de junta articulada, viga, eje y codo

No.



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Casco	1
2	Helice	1
3	Timon direccional	1
4	ensamble de codo 90 grados	1
5	Horquilla	4
6	ojal	3
7	viga ipn	1
8	Eje sujecion	1
9	viga ipn a codo	1
10	pin	4
11	Winche	1

	Dibujado por:	Nombre Mino J.	Fecha 18/08/2016	ESPOL
	Escala: 1:1	Ensamble general		