



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño de una Balsa

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

César Alfredo Limón Pelcastre

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Billy Arturo Flores Medero Navarro



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

AGRADECIMIENTOS

A mi familia

Quienes han estado a mi lado apoyándome durante todo este tiempo, aun cuando los momentos eran complicados. Me brindaron su ayuda y consejos cuando más lo necesitaba.

Sin sus enseñanzas, consejos, correcciones no sería la persona que hoy escribe estas líneas. No es la familia perfecta, pero estoy inmensamente agradecido de que haya sido así.

ÍNDICE

Objetivo	4
Justificación	4
Capítulo 1	
Antecedentes	5
Capítulo 2	
Marco teórico	28
Primeras consideraciones	36
Capítulo 3	
Geografía litoral de México	38
Capítulo 4	
Propuesta de Diseño	42
Capítulo 5	
Diseño de Balsa	52
Diseño inicial	54
Capítulo 6	
Diseño Final	55
Capítulo 7	
Análisis en elemento finito	70
Capítulo 8	
Resultados	76
Capítulo 9	
Costos de los materiales para la fabricación	81
Capítulo 10	
Conclusiones	83
Bibliografía	84
Referencias	85

Objetivo

Diseñar un modelo de balsa que pueda soportar una carga máxima de treinta toneladas para labores de mantenimiento en puertos mexicanos. De la misma manera se busca que esta pueda ser armable para su fácil transporte por tierra en contenedores de carga de tamaño estándar. Todo esto bajo un costo menor a “1,000,000.00” de pesos mexicanos.

Justificación

El constante aumento de tránsito marino en los puertos y su mantenimiento ha llevado a que se desarrollen nuevas formas de reparar y mantener en buenas condiciones a los puertos y puentes sin afectar el tráfico terrestre y marino. Aunque estos sean de poco flujo de automóviles se busca salvaguardar la integridad de los trabajadores encargados de esta tarea y simultáneamente mantener la seguridad de los peatones sobre los malecones o puertos, así como cuidar el impacto visual de los mismos. Debe cuidarse que, al realizar labores sobre los puentes, ningún vehículo de carga y dimensiones voluminosas pueda golpear las estructuras con las que se les da mantenimiento a los mismos.

Por problemas de movilidad un barco o fraga es complicada de transportar sobre tierra sin utilizar mucho volumen o recursos. Al diseñar una balsa que sea armable se puede ahorrar en volumen y sobre todo en costos de transporte, del mismo modo se pueden emplear materiales que soporten la corrosión provocada por el medio ambiente del mar.

El diseño de esta balsa será de mucha ayuda para el sistema portuario de México; en el área de los estados de baja california.

Capítulo 1

Antecedentes

Propiedades y características del agua

De vital importancia para la vida en este planeta es esta sustancia llamada agua; su molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Al referirnos a este compuesto casi siempre tenemos en consideración que es a su estado líquido el cual cubre un 71% de la superficie del planeta, considerando que el 98% de este recurso hídrico es salado y se encuentra concentrado en los mares y océanos. Solamente el 2% que resta es de agua dulce ($40,000 \text{ Km}^3$).

Ahora se debe dividir este 2% que es posiblemente ingerible, con ello descubrimos que el 68.9% ($27,760 \text{ Km}^3$) de agua dulce disponible en la Tierra se encuentra congelada en forma de glaciares y nieve; 30.8% ($12,112 \text{ Km}^3$) está en el subsuelo y un restante 0.3% (128 Km^3) se mantiene en la superficie y se ubica en lagos, lagunas, ríos y atmósfera [1].

Para el ser humano es imprescindible, ya que el 75% de su cuerpo está compuesto de agua; no puede pasar más de 3 días sin beber el vital líquido, de lo contrario pondría su salud en riesgo e incluso puede perder la vida. Con esto se demuestra la importancia del fluido, al cual le damos un mal uso y malgastamos de manera frecuente. En México se tiene un registro que vislumbra un panorama bastante caótico en el cual 12 millones de habitantes no tienen acceso al agua potable [2]. En el país se tienen 653 acuíferos de los cuales 102 se están sobreexplotados. Gracias a las fugas en las redes de abastecimiento se tienen pérdidas del 46%. El 80% de los cuerpos de agua de nuestro país presenta contaminación por descargas de las industrias. De 100 litros de agua que caen por la lluvia solo 1 es captado para ser utilizado en alguna actividad. La mayoría de las cuencas en nuestro país tienen una mala calidad de agua, por ende, México ha llegado a ser el consumidor de agua embotellada número uno en el mundo. Un ejemplo: en Oaxaca el 33% de la población no tiene acceso al agua en sus hogares, y aun así el gobierno federal decidió reducir el presupuesto de la Comisión Nacional del Agua para esa cuenca en 2016 en un 80% [3].

Por esa razón se invita al lector de este texto a tener conciencia sobre este vital fluido no renovable. Es así como se da inicio a la descripción de algunas de sus características y propiedades.

Flotación principios físicos básicos

El empuje hidrostático o ley de Arquímedes nos dice que un cuerpo que se encuentra total o completamente sumergido en un fluido estático, sufrirá un empuje vertical de forma ascendente por la cantidad volumen de fluido desplazado por el cuerpo que sea introducido en el mismo.

Flotamiento

Densidad

Se sabe que un cuerpo flota en el agua cuando la densidad del mismo es menor a la del agua, esta propiedad tiene por unidades Kg/m^3 , esto en el sistema internacional y haciendo la consideración de tener el agua a una presión atmosférica normal y hasta una temperatura de 4°C para tener la densidad unitaria. Ahora debemos tener en consideración la temperatura promedio de los cabos y bahías del país, la cual va desde los 22°C a 26°C y hay que tomar en cuenta que hay zonas donde esta temperatura puede ser superada por la precipitación. Un litro de agua de mar es equivalente a 1.3 kilogramos, por ende un metro cubico es igual 1.03 toneladas.

Sustancia	Densidad Kg/m^3
Agua duce (4 °C)	1000
Agua dulce (10 °C)	999.7
Agua Dulce (20 °C)	998.2
Agua de mar	1003
Acero	7850
Aceite	920
Aire (25 °C, presión 1atm)	1184
Caucho	950
Madera	300-650
Alcohol etílico	780
Aluminio	2700
Ser humano	950
Polietileno de alta densidad	10-30
Hierro	7870
Hormigón con áridos de coral	1500

Tabla 1. Valores de densidad de algunas sustancias. [4]

En la tabla 1 se muestran algunas de las densidades de materiales que se pueden utilizar para el diseño de la plataforma y que a su vez esta pueda soportar una carga de 40 toneladas y flote sin ningún tipo de daño estructural. Uno de los elementos que se pueden considerar por lo abundante y su baja densidad es el aire.

Fuerza boyante

Principio de Arquímedes

Este principio nos dice que “aquel cuerpo que se encuentre sumergido o flotando dentro de un fluido experimenta un empuje hacia arriba que es equivalente al peso del fluido desplazado por el cuerpo” [5]. Lo que se conoce como “Fuerza boyante (empuje)” es una reacción igual al peso del agua que desplaza un cuerpo, la cual actúa sobre el centroide del volumen desplazado y, como se mencionó anteriormente es de manera vertical hacia arriba. Teniendo las siguientes expresiones matemáticas para definirla y calcularla (ecuación 1, fuerza boyante) (ecuación 3, presión hidrostática):

$$F_b = \gamma * V_d \dots \text{ecuación 1}$$

Donde:

F_b : Fuerza boyante (N)

γ : Peso específico ($\frac{N}{m^3}$)

V_d : Volumen del fluido desplazado (mm^3) o (m^3)

$$P = \rho gh \dots \text{ecuación 2}$$

Donde:

P : Presión hidrostática ($\frac{N}{m^2}$)

ρ : Densidad del líquido ($\frac{Kg}{m^3}$)

h : Altura o profundidad (mm) o (m)

g : aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

En los barcos o embarcaciones se tiene un caso particular, ya que, el casco experimenta un empuje hacia arriba (esta fuerza lo mantiene a flote); puesto que es igual al peso del agua que desplaza el barco. Para asegurar la flotación de las embarcaciones su material de construcción debe ser de menor densidad a la del agua. Cabe mencionar que todas las embarcaciones son huecas en la zona del casco y, por ahí circula aire con una densidad mucho menor que la del agua. Este dato es de mucha ayuda, puesto que a la hora de fabricar un buque de cero e introducirlo al agua este desplaza un gran volumen y no se hunde; obviamente si el casco sufre una ruptura o daño se llenará de agua y tendrá un triste final.

Equilibrio de un cuerpo en flotación

La estabilidad es una propiedad de los objetos (cuerpos) que permite recuperar la posición de equilibrio inicial en la que se encontraba a causa de una interacción por fuerzas externas [6]. Cuando el cuerpo está sobre un fluido, se le puede considerar estable si se le da un giro sobre un eje horizontal y este regresa a la posición original en la que se encontraba.

Es de suma importancia para un objeto (cuerpo) la estabilidad, ya que, se necesita para una navegación ideal. Para entender de mejor manera dicho concepto es necesario describir algunos conceptos como el metacentro, centroide (centro de gravedad) y centro de flotación.

Centroide (centro de gravedad) (G): Es el punto en el cual se aplica la fuerza producida por la gravedad. Considerando un cuerpo homogéneo; esto quiere decir que tiene la misma densidad en todos los puntos que lo conforman, el centroide en pocas palabras, es el centro geométrico. Hay que resaltar el hecho de que no siempre coinciden y en un cuerpo que no sea homogéneo, este estará localizado en la zona con más peso (ecuación 3).

$$Y_G = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i} \dots \text{ecuación 3}$$

Donde:

m_i : Masa del elemento (Kg)

r_i : Distancia que hay entre el centro de gravedad y un punto de referencia (mm, cm, m)

Para poder calcular el centro de gravedad se debe tener en cuenta el peso muerto de toda la estructura (maquinaria, tanques de agua, materiales de mantenimiento, provisiones y/u otros).

Centro de flotación (B): También conocido como centro de carena y utiliza la letra “C” como símbolo. Principalmente utilizado en textos sobre arquitectura naval. Este se encuentra localizado en el centroide del volumen que se ha sumergido y justamente es el punto donde en cual se aplica la fuerza de flotación [7].

Estos dos puntos se encuentran alineados forma vertical en condiciones normales, encima a esto ambos se encuentran localizados casi al centro del barco. Otro aspecto a mencionar es que el centro de gravedad (centroide) suele estar por arriba del centro de flotación (ya que las embarcaciones tienen una considerable parte importante fuera del agua).

Metacentro (M): Para determinar qué tan estable es un barco se utiliza este concepto. Es el punto donde intersecan todas las líneas de fuerza ascendente que interactúan sobre la normal de equilibrio de un barco. La principal razón por la que un barco se inclina es por el oleaje del mar u océano. Gracias a estos movimientos el centro de flotación cambia de posición, a diferencia del centroide, este se mantendrá en el mismo lugar (si la embarcación tiene carga y no se asegura provocará un desplazamiento y por la misma razón el centroide cambiará de ubicación) [8]. Para encontrar el metacentro se debe trazar dos rectas verticales, una que vaya desde el centro de flotación y la otra debe partir del centro de flotación y seguir la vertical del barco (considerando que ahora este se encuentra inclinado); esta última debe pasar por el centro de gravedad (centroide). Justo donde ambas rectas corten se le denominara como metacentro. Hay una distancia que surge entre el centroide y centro de flotación, la cual es llamada altura metacéntrica.

A continuación, se explicará las diferentes posiciones que puede tener el metacentro y las consecuencias de su ubicación. (Imagen 1)

Si por encima del centroide se encuentra el metacentro (a), se considera una altura metacéntrica positiva y, esto nos indica que el centro de flotación se desplazara al mismo lado al que el barco se inclinara. Gracias a esto el momento resultante va a imprimir en el barco una rotación contraria a la inclinación del barco, por ende, el barco regresara a la posición inicial en la que se encontraba y se le considerara estable. Entre más separados se encuentren el centroide y centro de flotación el momento será mucho mayor. Si el centro de gravedad coincide con el metacentro (b), se dice que la altura metacéntrica es nula y se alinean de manera vertical el centroide y centro de flotación, lo que genera que no exista un momento. Provocando que el barco quede inclinado. El último caso es cuando metacentro se localiza por debajo del centroide (c), lo que por consecuencia nos da una altura metacéntrica negativa; dando por resultado que el

centro de flotación se encuentre del lado contrario al centroide, provocando la aparición de un momento que imprime una rotación en el mismo sentido de la inclinación, por ende, el barco volcara.

Uno de los elementos flotantes más estables son las plataformas, esto es debido a las grandes áreas que poseen y a su centroide, el cual está muy por debajo de lo habitual y es difícil de modificar, a diferencia de los barcos.

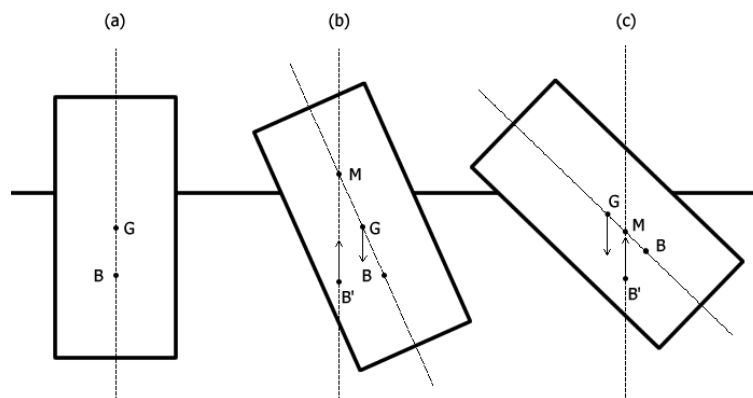


Imagen 1. Algunas posiciones del metacentro y sus consecuencias.

Otra característica que es importante mencionar es la llamada obra muerta, la cual es la capacidad y la restricción total de flotación. (Imagen 2)

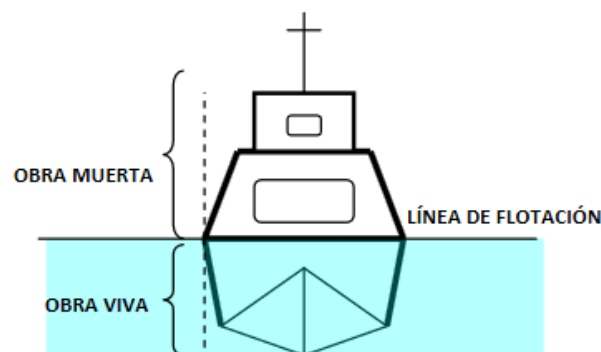


Imagen 2. Consideraciones de flotación.

Brazo adrizante

Cuando una embarcación escora surge este fenómeno, el cual solo es la distancia horizontal que hay entre el centroide (centro de gravedad "G") y el centro de flotación o centro de empuje (B) [9].

Sincronía y Balance

La sincronía o también conocido como sincronismo es la suma de los periodos de balance de un barco, del mismo modo aplica para las olas. Si este fenómeno llega a aumentar provoca que el balanceo sea peligroso, ya que, el barco se inclina de un lado a otro. Para evitar este fenómeno hay factores que se oponen a la sincronía, uno de ellos son el periodo del oleaje y su irregularidad; del mismo modo el barco no debe permanecer durante mucho tiempo atravesando el oleaje [10]. Porque esto provoca pantocazos en el casco. Es por esto que se consideran a las plataformas, ya que, son cuerpos flotantes que no son tan afectados por la sincronía y balance. Este proyecto será empleado en cabos y bahías, por ende, no estará sometido a un oleaje tan intenso como el que se encuentra en mar abierto. Lo máximo a lo que será sometido es el producido por movimientos de acomodo de material y al que genere algún bote que pase en sus cercanías.

El balance es un movimiento causado por el propio movimiento de oscilación de un barco o buque y a su mismo tiempo por el movimiento oscilante del agua. Para evitar que sea continuo este debe ser amortiguado por la resistencia que ejercen los elementos agua, oleaje (olas) y aire.

En la tierra (suelo) la inercia es un efecto que sufre un cuerpo cuando se le aplica una fuerza externa. Como se mencionó con anterioridad el cuerpo debe mantener su estado en el que se encontraba sino actúan ms fuerzas sobre él. En el agua y si es que esta se encuentra en un estado tranquilo, la inercia se mantendrá en movimiento indefinidamente.

La fricción que se genera entre el contacto con el agua amortigua la inercia que puede aparecer. El viento, el mar y la oposición al desplazamiento provocan un movimiento de equilibrio y generan que se mantenga con una intensidad mayor o menor.

Si una estructura que se encuentra en flotación no es suficientemente rígida, se puede producir movimientos fuertes y súbitos, provocaran daños a las estructuras y un desplazamiento de cargas (sea cual sea). Las plataformas que tienen un peso inferior tienden a tener un balanceo más fácil, provocado incomodidad a los tripulantes de esta.

Cargas Estructurales

En toda embarcación se aplican esfuerzo sobre sus estructuras, estos se pueden clasificar en esfuerzos primarios, secundarios y terciarios. Des mismo modo estos pueden ser por cargas hidrostáticas y/o hidrodinámicas.

Cargas hidrostáticas

Este tipo de carga se produce por un líquido que carece de algún tipo de movimiento.

Cargas hidrodinámicas

Son las cargas que actúan sobre un cuerpo o estructura cuando el fluido (agua) está en movimiento. En este caso se considerarán olas, corrientes marítimas, balanceo (a lo largo y ancho de los ejes del barco). Hay que mencionar que estas cargas y el comportamiento dinámico de la plataforma o embarcación dependerán del volumen de la geometría sumergida. Al igual que de la distribución del peso (carga) e inercias.

Esfuerzos primarios

Gracias al principio de Arquímedes sabemos que en las embarcaciones las fuerzas que actúan sobre las estructuras son el propio peso del cuerpo, también sumando el peso de la carga que lleve el barco y el empuje producido por el agua.

Se considerarán aguas tranquilas para el análisis de resistencia, esto con base a la geometría de la plataforma (embarcación). Para los esfuerzos principales longitudinales se hace una consideración y esta es: que a los barcos se les considera como una viga, que está apoyada lo largo, desde la popa hasta la proa. Cuando se comienza analizar las fuerzas, estas no se consideran en equilibrio, ya que, lo único “que está en equilibrio” es el conjunto que conforma la embarcación, barco o plataforma [11]. Por esta razón la embarcación (viga) puede llegar a tener una componente que actúa en donde haya más peso o puede aparecer donde el empuje sea predominante. Con esto en cuenta tenemos lo que se conoce como viga del buque.

Las resultantes provocarán tensiones internas, estas se podrán calcular fácilmente por algún método de resistencia de materiales. Para los cálculos se debe considerar la forma de la embarcación o plataforma. Ya que con esto se calculan las tensiones de corte y flexión.

Consideraciones de la clasificación.

Toda embarcación sigue el reglamento de clasificación según sea su cálculo estructural. Para simplificar estos cálculos los barcos se consideran en aguas tranquilas. Así se les agregan los distintos factores que aparecen cuando se encuentra dentro del mar (movimientos por olas, efectos dinámicos, etc.). De esta manera se llegan a los esfuerzos que se buscan (finales) como los momentos flectores y los esfuerzos de corte. Estos no deben ninguna condición de carga preestablecida (características de los materiales de construcción y de la estructura).

Existen diversas clasificaciones que no consideran los cálculos de resistencia de viga del buque o el momento flector como necesarios cuando la embarcación (plataforma) es pequeña (menor a 24 metros), por considerar que los efectos no son significativos.

Para el cálculo de los esfuerzos secundarios y terciarios se consideran elementos estructurales unitarios a las losas y muros que resisten la presión hidrostática.

Resistencia de materiales

Esta área de la mecánica estudia las relaciones entre las cargas que se aplican de manera externa a los sólidos y los efectos que los mismos tienen al interior de los mismos. Aunque se generen deformaciones minúsculas estas son de gran interés. Todos los materiales tienen propiedades específicas y estas afectan directamente a la estructura interna, del mismo modo afectan el diseño en el que se vayan aplicar como componentes. Por ende, deben de satisfacer cada condición de resistencia y rigidez que les sean solicitadas.

Resistencia

Es la capacidad que tienen los materiales o elementos (en este caso estructurales) para soportar y resistir los esfuerzos y las cargas aplicadas sin que estos se rompan, o sufran alguna deformación permanente.

Rigidez

De manera cualitativa es una unidad de medida que indica la resistencia a las deformaciones (elásticas) que se producen por un material. Contemplando la capacidad del elemento para no torcerse o doblarse por la interacción con las fuerzas externas que interactúan sobre las superficies del mismo.

Estructura

Es un conjunto de una o varias piezas al cual también se le puede llamar sistema, se conectan entre sí por medio de algún tipo de eslabón; este mismo interactúa con el medio ambiente, medio exterior al sistema para formar un conjunto estable. En pocas palabras es un conjunto que es capaz de recibir las fuerzas externas a él, absorberlas en su interior y de la misma manera transmitir las hasta donde estén colocados sus apoyos, para que estas fuerzas externas encuentren otro sistema; solo que este será estático y estará en equilibrio.

Estudio de fuerzas internas

Para un caso general se considerará un sólido de alguna geometría regular, en el que actuarán un conjunto de fuerzas sobre la superficie del mismo, en la imagen siguiente (Imagen 3) se muestra cómo es que se aplican dichas fuerzas. En la mecánica se debe calcular la resultante de las fuerzas para observar si el sólido estudiado se encuentra en equilibrio o no. Para esto la resultante debe de ser cero o nula, con esto se afirma que se encuentra en equilibrio estático; condición que se desea en la mayor parte de estructuras.

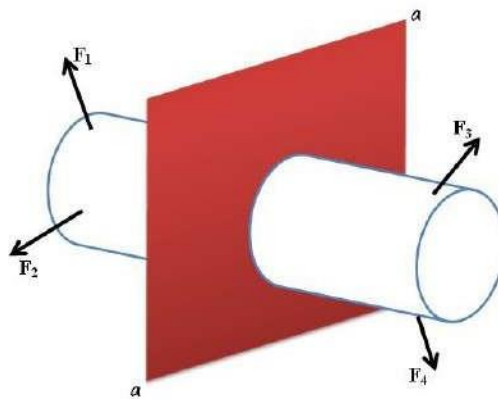


Imagen 3. Plano de corte a-a en el sólido para el análisis de fuerzas.

Para hacer un estudio de la resistencia de los materiales se debe idealizar nuestro sólido, del mismo modo se debe hacer uso de un plano de corte auxiliar el cual nos ayudara a saber cómo se distribuirán las fuerzas en el interior del elemento. En la mayoría de casos estas resultantes quedan en equivalencia con una sola fuerza y un par, mismo que por conveniencia se pueden descomponer dependiendo de la normal y la tangente a la geometría (Imagen 4).

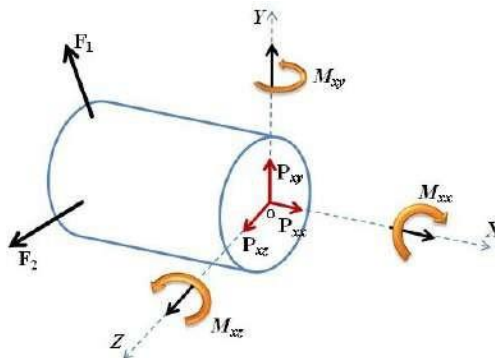


Imagen 4. Componentes de las reacciones internas del plano a-a.

El sistema cartesiano ubica siempre su origen el centroide de la figura, ya que es el punto de mejor referencia de la sección obtenida. Si la sección es normal al eje X esta se llamará superficie X o cara X, mientras que la orientación de los ejes restantes (Y, Z) en el plano se elige de manera que puedan coincidir con los ejes de inercia (principales).

En la imagen 4 se puede apreciar la notación que se emplea; estos subíndices indican la sección que se está analizando, del mismo modo identifican los componentes de fuerzas y momentos. El primer subíndice nos indica la cara en la cual están actuando las componentes, el segundo subíndice indica la dirección de todas y cada una de ellas. Por consiguiente la notación P_{xy} es la fuerza que está actuando en la cara X y en dirección Y.

Cada fuerza aplicada sobre el sólido tiene su representación en los componentes del mismo, a continuación, se darán sus nombres característicos junto con una pequeña descripción.

- **Fuerza axial** (P_{xx}): Corresponde al resultado de tirar, jalar o empujar sobre la sección transversal del sólido; por consiguiente tiende a alargar el sólido. Mientras que cuando esta empuja representa compresión y reduce su longitud. En la mayoría de textos y formulas se representa con una **P**.
- **Fuerza cortante** (P_{xz} y P_{xy}): En muchos casos esta fuerza aparece en pares, ya que son resultantes de resistencia al deslizamiento de la parte estudiada del sólido, apareciendo a un lado de esta. Su notación general es una **V**, mientras que sus componentes (V_y y V_z) determinando en qué dirección van.

- **Momento de torsión** (M_{xx}): También conocido como momento torsionante, es la componente que mide la torsión del sólido que se está estudiando. Se suele representar con una **T** o **t**.
- **Momento de flexión** (M_{xy} y M_{xz}): Son componentes que indican cuanto se flexionara o curvara el solido estudiado, esto respecto a los ejes **Y** y **Z**, mayormente se representan por M_y y M_z con respecto a sus ejes.

Lo mencionado con anterioridad se puede resumir diciendo que el efecto dentro del solido debido a las fuerzas externas aplicadas sobre él depende de la sección y orientación que se elijan para el análisis. Un caso particular es donde las fuerzas actúan sobre un plano y este se llama XY, las 6 diferentes componentes (véase imagen 4) se reducirán a 3. Las cuales serían la fuerza axial (P_{xx}), fuerza cortante (P_{xy}) y momento de flexión (M_{xz}).

La resistencia de materiales busca que las estructuras sean capaces de soportar los efectos que se producen por aplicar un tipo de fuerza o alguna combinación de ellas.

Vigas

Por características mecánicas y de resistencia de los materiales se abordará el concepto de viga, ya que, sus cualidades son de alta prioridad para el desarrollo del proyecto de este trabajo.

Cuando a un elemento estructura (viga) se le aplica una carga perpendicular y esta la soporta sobre su eje longitudinal se dice que está sometida a un esfuerzo de flexión. La viga se deformará de manera curva, a este desplazamiento vertical del su eje longitudinal (también llamado eje de simetría) se le denomina deflexión [12].

En su mayoría las vigas son barras solidas o huecas, largas y rectas en donde el área de su sección transversal es constante.

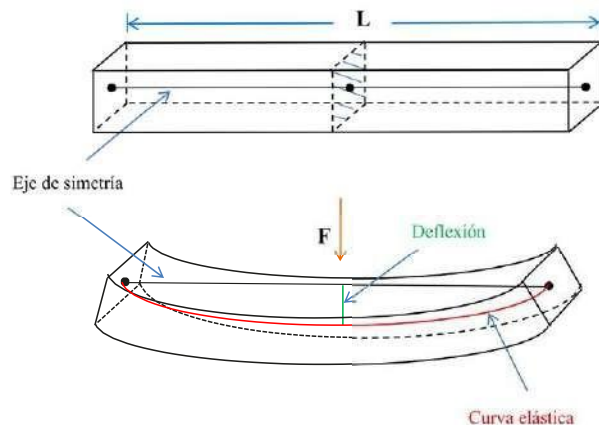


Imagen 4. Curva de deflexión debido a una carga.

Según el material del que esta fabricada la viga y el tipo de apoyo que tenga, esta podrá tener más de una deflexión. Con esto se puede realizar una comparación de todas y determinar cuál es la deflexión máxima que sufre una viga.

Además, se debe considerar algunas características que las vigas deben cumplir como son:

- **Lineal:** Es la relación que existe entre las tensiones y deformaciones, el comportamiento de estas tiene que ser lineal.
- **Elástica:** Tiene la capacidad de recobrar su forma original (dimensiones) después que la carga la que se sometió se retira.
- **Homogénea:** Mantiene sus propiedades de elasticidad en cada punto del elemento (viga).
- **Isotrópica:** Sus propiedades elásticas son las mismas en todas las direcciones de cada punto.

Tipos de vigas

En el siguiente apartado se describirán algunos de los tipos de vigas existentes, mencionando dos que son de nuestro principal interés.

- I. **Viga simplemente apoyada:** En sus extremos se encuentran apoyos del tipo pasador o de rodillo.

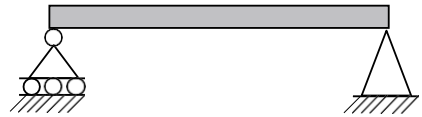


Imagen 6. Viga simplemente apoyada.

- II. **Viga en cantiléver, voladizo o ménsula:** Se encuentra empotrada en solo uno de sus extremos, lo que impide el giro en ese punto.



Imagen 7. Viga en cantiléver.

- III. **Viga biapoyada, hiperestática o continua:** Son vigas que tienen más de un tramo y del mismo modo cuentan con más de un apoyo (fijo o móvil).

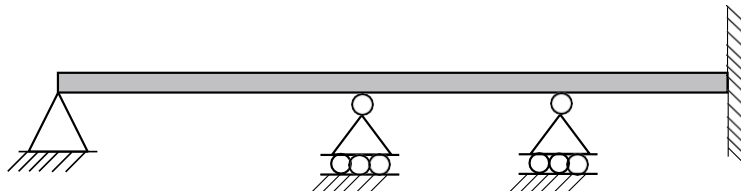


Imagen 8. Viga hiperestática.

Carga

La carga es el conjunto de fuerzas que actúan en una estructura, generando cambios en los elementos internos lo que lleva a las deformaciones y tensiones en los elementos.

Existen diferentes tipos de cargas y a continuación se hablará de algunas de ellas.

- a) **Carga puntual (concentrada):** Este tipo de carga actúa sobre un pequeño elemento de longitud, lo que hace suponer que lo hace sobre un punto.

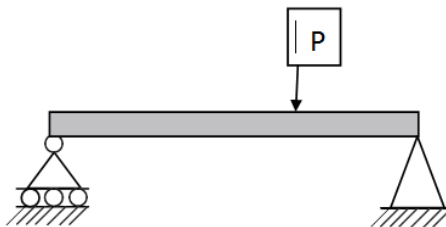


Imagen 9. Representación de la carga puntual.

- b) **Carga distribuida:** Es un tipo de carga que actúa sobre una porción finita de la viga. Esta se puede distribuir de manera uniforme a lo largo de la longitud total de la misma o en una pequeña parte. La siguiente imagen (Imagen 58) lo mostrara de mejor manera.

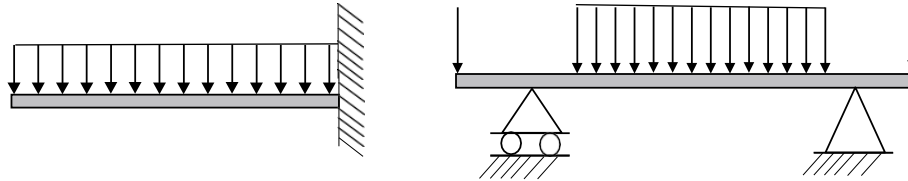


Imagen 10. Carga distribuida.

De la misma manera la carga distribuida puede ser variable. Su magnitud puede crecer o decrecer de forma constante. La imagen 11 lo ejemplifica.

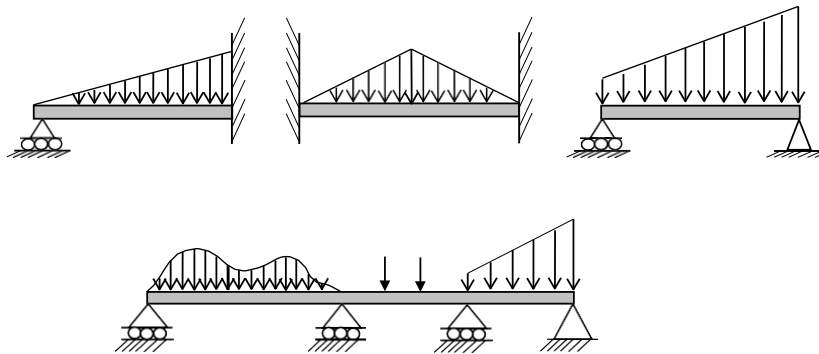


Imagen 11. Tipos de cargas distribuidas variables en vigas.

Momento de flexión y fuerza cortante

En la imagen que se muestra a continuación (Imagen 12) se muestra una representación de una viga que está apoyada de manera simple, manteniéndose en equilibrio aun cuando está bajo la acción de una fuerza concentrada \mathbf{P} y sus reacciones R_1 y R_2 . Para ejemplificar mejor se desprecia el peso de la viga; solo se considerará el efecto debido a la carga.

A continuación, se le hará un corte a la viga, esta sección se llamará $a-a$, la cual estará a una distancia que denominaremos x de R_1 . Teniendo de resultado una viga dividida en dos partes.

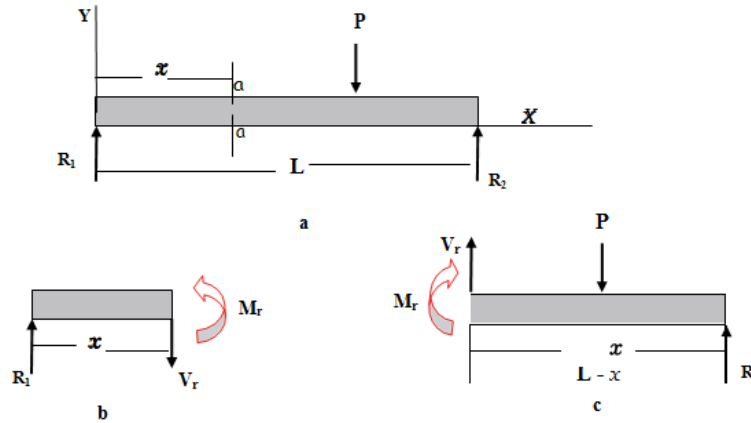


Imagen 12. Diagrama del corte de la viga.

Como se observa en la imagen anterior se puede notar un diagrama de cuerpo libre, en la parte izquierda de este se muestra que la fuerza exterior al sistema es la resultante R_1 . Para que esta sección de corte (a-a) se mantenga en equilibrio deben aparecer fuerzas necesarias y resistentes para satisfacer las condiciones de equilibrio. Mismas que son representativas del lado derecho, parte que se suprimió porque solo considere el lado izquierdo. En particular en este caso y como se aprecia la fuerza exterior se aplica de manera vertical, provocando que la condición $\sum X = 0$ se satisfaga por el hecho de que el eje X es horizontal. Ahora bien, para que se satisfaga la condición de $\sum Y = 0$, las reacciones (fuerzas) interiores en la sección del corte a-a deben de generar una fuerza de resistencia que se oponga a R_1 . El nombre de esta fuerza es V_r , en las siguientes imágenes (imagen 13 y 14) se mostrará donde aparece esta fuerza cortante.

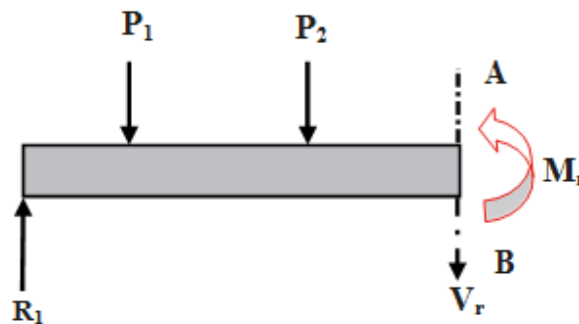


Imagen 13. Fuerzas aplicadas de manera vertical en la sección estudiada.

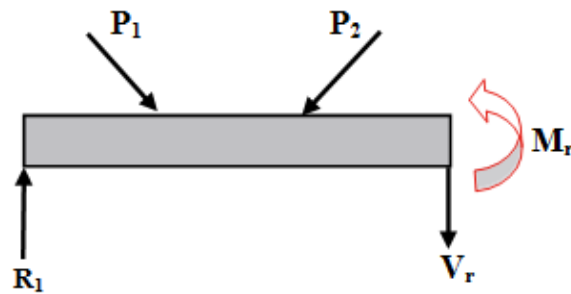


Imagen 14. Fuerzas aplicadas con algún ángulo sobre la sección estudiada.

En este caso se considera que el cortante V_r , de forma numérica es igual a R_1 . Pero ¿Qué pasaría si hubiera más fuerzas aplicadas entre R_1 y nuestra sección de estudio (*a-a*), como se observa en las imágenes 13 y 14, se tendría como respuesta que la resultante no logra equilibrarlas, por lo tanto, tendría que obtenerse de la suma de sus componentes verticales. A esta fuerza resultante que no equilibra las fuerzas se le representa con la letra V , teniendo como valor la suma de las componentes de las fuerzas exteriores (verticales) en cada dirección. Teniendo presente que este solo es para el lado izquierdo (nuestra sección de estudio). La ecuación de la fuerza cortante (vertical) es simplemente:

$$V = \sum Y_{izquierdo} \dots \text{ecuacion 4}$$

En la cual el subíndice que dice “izquierdo”, el cual se puede abreviar, pero podría generar alguna confusión, indica que es el lado izquierdo de la viga, el cual se está estudiando o analizando.

La fuerza cortante que resulta (V_r), se produce debido a las reacciones internas en cualquier sección de una viga. Esta en cualquier caso es igual y opuesta (contraria) a la fuerza cortante V . Para calcular esta última (V), se considera que las fuerzas que van hacia arriba son positivas.

En la siguiente imagen (Imagen 15) se aprecia como una fuerza cortante (positiva) tiende a generar un deslizamiento hacia arriba del lado izquierdo de una viga respecto a su lado derecho, de manera viceversa este fenómeno tendría un cortante negativo.

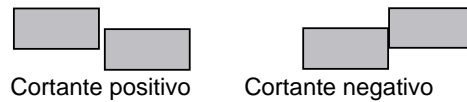


Imagen 15. Sentido del cortante.

Para la imagen 15 y poder contemplar su diagrama de cuerpo libre hay que mencionar que la suma de sus componentes también debe ser igual a cero (o nula). En esta imagen V_r y R_1 , se considera que son iguales, pero en sentido contrario, por lo que generan un par M , que es igual a $R_1 * x$. Este es llamado momento de flexionante (momento de flexión), ya que, tiende a generar una flexionar o curvar una viga. Las reacciones interiores de la sección que se estudie (en nuestro caso $a-a$) deben de ser capaces de generar un par igual y opuesto que resista las cargas y regrese al equilibrio de momentos.

Como es bien sabido en la mayoría de casos, los diagramas de cuerpo libre muestran que un sistema tiene más fuerzas aplicadas. Por lo que se necesita una definición más completa del momento flexionante y como se calcula.

Momento de flexión (momento flexionante)

Este es el resultado de la suma de los momentos que generan todas las fuerzas que se aplican en la sección de la viga que se esté analizando, todo respecto al eje perpendicular del plano de las fuerzas que pasa por el centroide (centro de gravedad) de la sección que se esté estudiando. De manera sencilla la ecuación queda de la siguiente manera:

$$M = \sum M_{izquierdo} = \sum M_{derecho} \dots \text{ecuación 4}$$

Donde los subíndices que dicen “izquierdo, derecho” manifiestan el lado o sección de la viga se está estudiando. Ahora hay que observar con atención la imagen 61, en la cual las fuerzas que se aplican son perpendiculares a la viga; por consecuente es indiferente por cual punto de la sección pase el eje para el cálculo de momentos. Mientras que para las fuerzas que se aplican en la imagen 62 se puede apreciar que están inclinadas, las cuales no tienen definido su brazo de palanca; únicamente si se fija su posición y el eje respecto al cual se tomara el momento en una sección específica, se podría. Pero surgen fuerzas combinadas las cuales son axial y de flexión.

Convención de signos para el momento flexionante

Uno de los criterios más utilizados para asignar signos es la concavidad de la flexión. Si la concavidad va hacia arriba se dice que es una flexión positiva, en caso contrario si la flexión va hacia abajo se considera negativa.



Imagen 16. Signo de la flexión.

Otro criterio que es equivalente es el sentido de las fuerzas, cuando van actuando hacia arriba sin importar la sección, estas producen momentos positivos y aquellas fuerzas que van hacia abajo generan momentos negativos. Considerando la imagen 16 (lado izquierdo) tenemos que los momentos siguen el sentido horario generando que sea un momento positivo, pero si vemos el lado derecho de la misma imagen tenemos que el sentido de R_2 también es positivo, en sentido anti horario. Como tal este criterio tiene de ventaja poder calcular los momentos sin que haya confusión de los signos; esto va en función de las fuerzas de cada lado (derecha, izquierda). Esto depende de en donde sea más “sencillo” el cálculo, ya sea porque haya menos fuerzas o estas sean más sencillas. Bastaría con recordar que las fuerzas que van hacia arriba producen un momento positivo, no importa si están del lado derecho o izquierdo de la sección de análisis.

Teoría de la Viga Euler-Bernoulli

Probablemente es uno de los modelos más simples para la formulación de la elasticidad lineal restringida. Dice que los desplazamientos verticales (se indican con flechas) en todos los puntos de la sección transversal de la viga, son de un tamaño pequeño e iguales a los que tiene la viga en su eje. Seguido de eso el desplazamiento lateral no existe se considera nulo (coeficiente de Poisson). Después de la deformación, las secciones transversales (normales) al eje de la viga se mantienen planas y ortogonales.

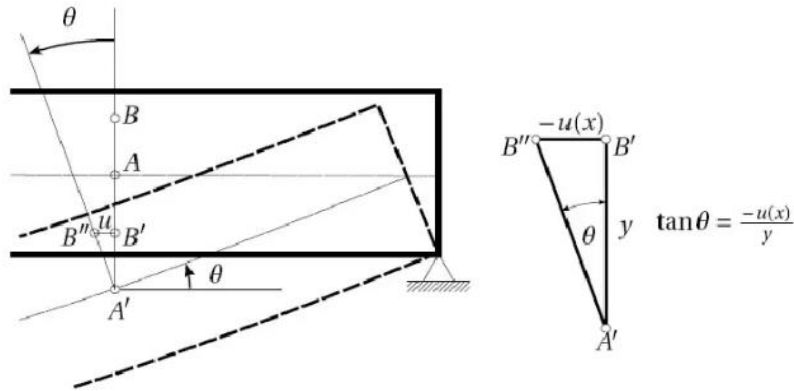


Imagen 17. Teoría de Euler-Bernoulli señalando las secciones planas y ortogonales.

La ecuación de Euler-Bernoulli parte del estudio de la curva elástica, en donde se hace el uso de ecuaciones diferenciales y se recurre a las diferentes herramientas que las acompañan para su solución, la siguiente ecuación es el resultado de aplicar más de una derivada y doble integración a una viga prismática con una carga $w(x)$. Esta es una ecuación lineal de cuarto orden.

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = -\frac{w(x)}{EI} \dots \text{ecuación 5}$$

Para poder solucionar esta ecuación y obtener los valores que necesitamos es necesario realizar una multiplicación a ambos miembros de la igualdad, estos se multiplican por la constante EI (para simplificación de cálculos) y seguido a eso realizar cuatro integraciones. Como se sabe, al realizar este procedimiento surgen constantes de integración las cuales se deben obtener su valor real. A continuación, se mostrará el resultado de lo dicho con anterioridad y se describirá a qué pertenecen dichas constantes.

$$EIy(x) = -\int dx \int dx \int dx \int w(x)dx + \frac{1}{6}C_1x^3 + \frac{1}{2}C_2x^2 + C_3x + C_4 \dots \text{ecuación 6}$$

Las constantes que surgen determinan las condiciones de frontera del sistema, estas dependen de las condiciones impuestas que se le dieron a la viga (flexión) debido a sus apoyos. En el caso de una viga apoyada en (como en el proyecto) se necesita que el momento flector debe ser igual a cero en los dos apoyos que tenga. En la siguiente figura se muestra a detalle este el fenómeno.

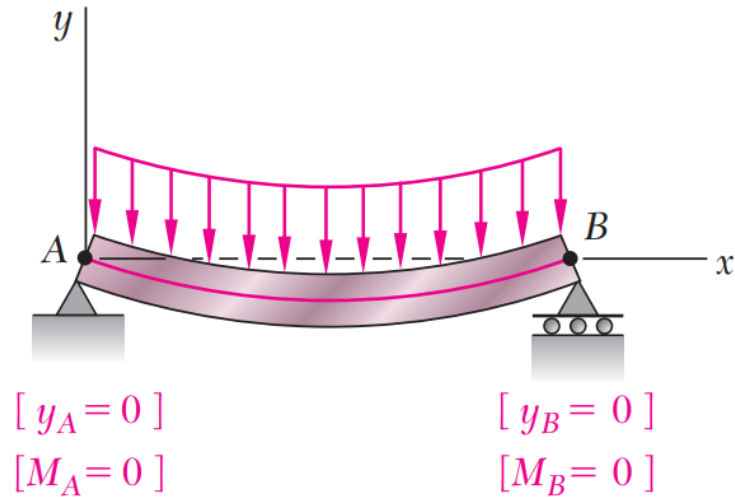


Imagen 18. Condiciones de frontera con una carga distribuida.

Todos los conceptos relacionados a vigas fueron descritos para entender de mejor manera como se comportaría la estructura de la balsa, ya que, estos son perfiles comerciales que se analizan como vigas en apoyos, simplemente apoyadas o hiperestáticas. Después de eso se debe mencionar que el Teorema de Euler-Bernoulli ayuda a comprender que ocurre cuando se tiene una carga distribuida en una viga y no se cuenta con un programa de análisis de elemento finito.

Estos softwares son muy variados y simplifican los cálculos y análisis de estructuras para mostrar en donde surgen deformaciones, esfuerzos y desplazamientos de los diferentes moldes que se hagan en esos programas.

Teoría de fallas

Son criterios que se utilizan para determinar los esfuerzos permisibles que surgen de manera estática; estos son apreciables en elementos estructurales o en componentes de maquinarias.

Cuando se estudia un componente o elemento estructural se busca que este no sobrepase su rango (dominio) elástico. Estos criterios dependen del material estudiado, ya que, establecen una aproximación al comportamiento ideal del elemento y aunque la pieza no se rompa esta puede pasar a otro dominio que es el plástico, donde la deformación es permanente y no puede regresar a su configuración inicial.

Todos aquellos materiales dúctiles tienen un rango de deformación considerable hasta el punto de ruptura o cambiar al dominio plástico. Para estudiar estos fenómenos existen dos tipos de teorías, una llamada “Teoría de la tensión tangencial máxima” y la otra llamada “Teoría de la máxima energía de distorsión”.

Criterio de Tresca

También conocido como teoría de la tensión tangencial máxima. Es una teoría propuesta por Henri Tresca en la cual propone que: una pieza (resistente) o algún elemento estructural va a fallar cuando en algún punto de la siguiente ecuación ocurre:

$$\tau_{max} \geq \frac{\sigma_Y}{2} \dots \text{ecuación 7}$$

Donde:

σ_Y : Límite de la tensión del material del que este conformada la pieza

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}: \text{La tensión cortante máxima del punto analizado}$$

σ_1, σ_3 : Respectivamente son la dirección mayor y menor principales de las tensiones por deformación en el punto de análisis

Criterio de Von Mises

También llamado “Teoría de la máxima energía de distorsión”, se le podría conocer como un refinamiento del criterio de Tresca; aunque años atrás haya tenido un antecedente con Maxwell y Huber, fue Richard Edler Von Mises que este alcanzó una alta visibilidad en el campo de la teoría del fallo elástico. Según el criterio un elemento estructural o pieza falla cuando en alguno de sus puntos la energía de distorsión por unidad de volumen supera una cantidad, la cual se dicta por la siguiente ecuación:

$$e_{dist} \geq \frac{\sigma_Y^2}{2E} \dots \text{ecuación 8}$$

También se puede describir en término de las tensiones de la siguiente manera:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y \dots \text{ecuación 9}$$

donde:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3: \text{Tensiones principales de punto analizado}$$

De la misma manera ambos criterios se pueden representar de una manera gráfica y así observar detalles de su comportamiento en un plano. Esta configuración de coordenadas tiene por ejes σ_1 y σ_2 respectivamente. En la siguiente figura se mostrará lo mencionado con anterioridad.

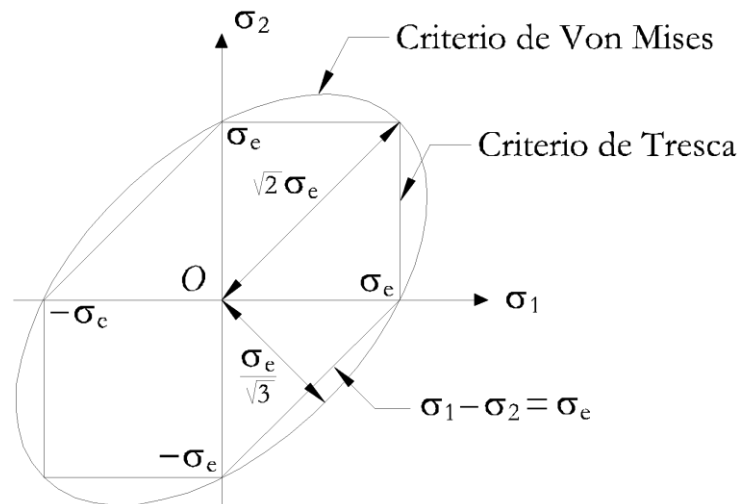


Imagen 19. Plano de comparación entre los criterios de Von Mises y Tresca.

Como se observa en la imagen anterior, se puede comprobar que las divergencias más grandes o mayores entre los dos criterios ocurren en $\sigma_1 = -\sigma_2$. También es necesario mencionar que el criterio de Tresca va a depender de la orientación de σ_1 y σ_2 , por lo que se diría que:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > 0 \dots \text{ecuación 10}$$

Reduciendo el criterio de Tresca a:

$$\sigma_1 = \sigma_e \dots \text{ecuación 11}$$

Mientras que si en otro caso si se tiene: $\sigma_2 > \sigma_1 > 0$ el criterio de Tresca se reducirá a:

$$\sigma_2 = \sigma_e \dots \text{ecuación 12}$$

En el último caso tenemos que si: $\sigma_1 > 0 > \sigma_2$ el criterio de Tresca se reducirá a:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_e \dots \text{ecuación 13}$$

Dicho esto, se establece que la tensión de Von Mises es equivalente a:

$$\sigma_{VM} = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} \dots \text{ecuación 14}$$

Y el criterio de Tresca se definirá como:

$$\sigma_T = \frac{\sigma_e}{2} \dots \text{ecuación 15}$$

La diferencia entre ambos criterios es de un 15% aproximadamente.

Capítulo 2

Marco teórico

Casa flotante

En términos generales una casa flotante es un barco que ha sufrido una modificación o fue diseñado para el huso del hábitat humano. Estas pueden tener o no un motor, el cual les ayuda a desplazarse sobre el medio acuoso en el que se encuentren [13].

Es un concepto que no es nuevo, puesto que desde épocas prehispanicas el hombre ha construido diferentes tipos de edificaciones sobre el agua, ya sea para alimentarse o para vivir. En donde el más claro ejemplo es de los mexicas, que edificaron una ciudad sobre un lago utilizando pilotes de madera como cimientos.

En esta tesis se utilizarán los principios de construcción de una casa flotante para lograr el diseño de nuestra plataforma, ya que, estas tienen una longitud de 7 a 15 m, logrando soportar una gran carga sin volarse.

Estado del arte

Para dar un mayor entendimiento de la plataforma se especificarán algunas construcciones revisadas y se mencionarán algunas ventajas y desventajas de los mismos.

Configuración palafítica

Son estructuras conformadas de polines, su principal función es soportar y dar una cierta elevación sobre el nivel del agua. Los principales materiales utilizados para esta configuración son: Acero, concreto y madera [14].

Según sean los requerimientos del usuario y zona donde se colocarán se calculará la distancia entre los postes, el material, la altura, el espesor del pilón y el nivel del agua. Estos elementos son considerados para evitar daños en la propiedad, sobre llevar inundaciones y proporcionar más seguridad.

Este método de construcción es el más tradicional y utilizado para evitar inundaciones en algunos ríos como las amazonas y otras zonas de México donde estos fenómenos naturales tienen una mayor frecuencia, provocando un gran riesgo en las casas que se encuentran en las orillas de los ríos.

Es común utilizar maderas ubicadas en las cercanías de estos lugares, (Imagen 20) así se ahorra tiempo para recolección y ensamblado, sumado a eso es mucho más viable económicamente utilizar esos recursos.

Ventajas: Son fáciles de reparar, son construcciones de bajo costo, utilizan madera, las puede construir los mismos habitantes.

Desventajas: La madera tiene muchos problemas con agentes degradantes, son construcciones en las que niños y adultos mayores pueden caer, no se puede mover tanto.



Imagen 20. Arquitectura palafítica.

En la actualidad el material que es más utilizado para la construcción de edificios, puentes y casas es el hormigón. Este tiene propiedades estructurales y mecánicas sobresalientes. Hay estudios que señalan una nueva tendencia en la construcción, en la cual se emplean pilares de hormigón con un alma (refuerzo interno) de acero. Con esto se tiene la ventaja de que será durable y se puede acoplar mucho más fácil a otros ensambles o construcciones.

Otras ideas de construcción flotante emplean tubos de acero que embonan en concreto para soportar toda una casa. Gracias a la resistencia del acero a la compresión, resiste los altos esfuerzos que se aplican. Pero todo esto tiene un alto costo, sin considerar que el acero debe tener una protección extra ante la corrosión.

Construcciones flotantes

Todo espacio estructural construido con elementos rígidos que integra elementos pontones o boyantes se denomina construcción o estructura flotante. Estas construcciones flotantes se dividen en diferentes formas, ofreciendo una gran variedad de usos en el agua, por ejemplo: elementos de flotación para helicópteros, puentes, casas, muelles, dragas, murallas. Pueden ser de bajo y alto perfil, puesto que su fabricación va desde botellas de PET hasta hormigón armado. En la imagen 21 se muestran algunos ejemplos.

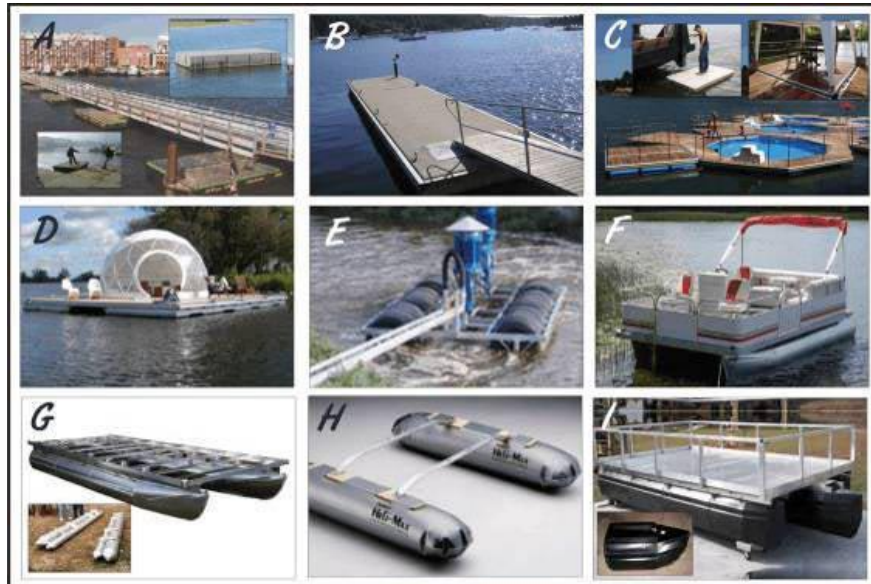


Imagen 21. Ejemplos de construcciones flotantes A. Puente de concreto. B. Dock de madera. C. Piscina flotante. D. Domo flotante. E. Dragadora. F. Catamarán pequeño. G. Pontones de aluminio. H. Pontones de lona de PVC. I. Bote con pontones roto moldeados.

En la actualidad las estructuras o construcciones flotantes se están usando para diversas aplicaciones. Por ejemplo: hoteles flotantes, fibra de vidrio, materiales estructurales boyantes, flotadores para barcos pequeños. Como algunas de estas construcciones flotantes quedan huecas (muelles, puentes, barreras), se les inyectan espumas que rellenan el espacio que queda vacío, únicamente por seguridad del casco al ser golpeado.

En la siguiente imagen (Imagen 22) se muestran algunos pontones roto moldeados. Los cuales son elementos muy utilizados en la industria marítima; en donde sus principales funciones son soporta barcos pequeños, del mismo modo se emplean para muelles flotantes; para carga y descarga de pasajeros en botes pequeños.

En los últimos años el mercado de pontones ha ido en aumento a nivel mundial, y aquí en el continente en América central y América del sur, ya que son estructuras que facilitan el ensamble de construcciones marítimas, ahorrando tiempo de construcción y ofrecen una alta durabilidad. Aunque para lograr que se agrupen los módulos (pontones) se necesita otra estructura interna rígida, la cual puede ser de acero.

Elementos de flotación empleados para plataformas económicas

Madera

A lo largo de la historia en diferentes civilizaciones se han empleado troncos macizos o ahuecados de madera para fabricar balsas, canoas y casas flotantes. En los lugares donde se tiene un mayor registro es en las amazonas, África, Egipto. Son estructuras que tienen una alta flotabilidad, la principal razón de esto es por la densidad de la madera la cual ronda los 850 Kg/m^3 . La durabilidad depende mucho del cuidado que se les dé, así como el uso de impermeabilizantes entre los que destacan el aceite quemado, ceras de abeja y algunas resinas naturales, ya que en climas húmedos es incierto cuanto puedan llegar a durar.



Imagen 22. Ejemplo de construcciones flotantes.

Materiales reciclables

Entre estos elementos recuperados se pueden encontrar botellas de PET, poliuretano y algunas espumas de poliestireno. Con dichos materiales se han podido construir plataformas y casas flotantes. Un ejemplo de esto nos lo dio un albañil de 40 años llamado "Luis Fernando Barreto de Quiroz", quien construyó su casa flotante de "basura". Utilizó una plataforma de 42 m^2 por 1 m de altura en donde el material predominante fueron botellas agrupadas de PET con capacidad de 2.5 lt ; cada botella estaba rellena de poliestireno expandido. Todo esto sucedió en uno de los ríos con más contaminación en Rio de Janeiro. Su declaración fue la siguiente "Fabricé toda mi casa usando lo que otros arrojan a la basura: columnas de hierro, marcos de ventanas, maderas, el cemento que es descartado en otras construcciones de la zona. Lo único que tuve que comprar fueron los clavos, la cal y el tejado" [15] (Imagen 23).



Imagen 23. Casa flotante hecha de basura. A. Vista general de la casa. B. Ventanas recicladas. C. Botellas utilizadas con el relleno mencionado.

Composición de plataformas económicas

Las plataformas de bajo costo en su mayoría están fabricadas con madera y elementos metálicos de segunda mano entre los que se encuentran: tubos comprados en el fierro viejo, andamios, láminas, etc. Por ser materiales de bajo costo y resistentes a los esfuerzos en la construcción se consideran más que otros.

Plataformas de nivel medio

Estas plataformas se encuentran sobre estructuras que tienen una inversión mucho más alta, puesto que tienen un mayor nivel de ingeniería aplicada en ellas y, en su mayoría están fabricadas de ferrocemento. Este material tiene un propósito doble; sirve como elemento estructural y de flotación, es resistente a algunos factores del medio ambiente y es económico. Dicho material es utilizado para construcciones de lujo en países de primer mundo.

Joseph Louis Lambot patentó este material en 1852, su composición consta de un entramado soldado o tejido de varillas de acero de diámetro de 5 mm, un recubrimiento de mallas galvanizadas amarradas y cemento hidráulico. Este material se empezó a utilizar para la construcción de barcos pequeños y embarcaciones de gran tamaño; esto derivado a la escasez de acero por la segunda guerra mundial. Si se trata de la manera correcta este compuesto se vuelve impermeable.



Imagen 24. Barco fabricado con ferrocemento.

Plataformas de alto nivel

Son construcciones fabricadas con tecnología y materiales de última generación. Pueden tener dos tecnologías construcción. Una de ellas es holandesa, la cual se dedica a construir un casco con estructura hueca de cemento, usualmente tiene un sótano en su configuración. La otra tecnología es canadiense, esta invierte un casco y con espuma de poliestireno lo rellena, generando una estructura que no se puede no se puede sumergir. Esta última tiene una gran desventaja y, esta radica en la inestabilidad que presenta a comparación de la tecnología holandesa; es por eso que se utiliza más la primera opción.

Elementos de flotación

A grandes rasgos estos elementos se pueden dividir en dos tipos. Los de tipo uno tiene la característica de flotar y servir para arreglos estructurales entre ellos el cerro, ferrocemento y fibra de vidrio. El tipo dos requiere una configuración que integre cada componente, esto sucede en los troncos ahuecados y canoas de madera, junto con los mencionados pontones de plástico y aluminio.

Madera

Gracias al incremento de precios en materiales de construcción para la industria marítima, los usuarios tienden a utilizar la madera como elemento de flotación y básicamente construir toda una plataforma con ella. Aprovechando lo barata que puede ser y sus excelentes características.

PET

El tereftalato de polietileno o PET, es uno de los materiales (polímeros, plásticos) más utilizados, uno de sus usos más destacado es la fabricación de envases (recipientes).

Debido a su composición química, el PET es considerado poliéster. Este se obtiene por la policondensación entre el etilenglicol y el ácido tereftálico. Una vez que se obtiene este material se puede procesar de muchas maneras y así tener diferentes productos derivados del mismo. Esto gracias a los procesos de: extrusión, termoconformado, inyección, soplado, etc.

Entre sus principales características podemos encontrar una alta resistencia al desgaste y plegado (propiedades mecánicas), alta resistencia química y térmica, es ligero y es reciclable (característica que es buscada en la actualidad).

Ferrocemento

(Aplicación en barcos)

Es un material compuesto que para su elaboración se necesita una o varias mallas de acero, refuerzos de alambre, cemento hidráulico y arena. Hay que resaltar que el ferrocemento no se debe confundir con el hormigón armado.

Aunque se comporta como hormigón armado en la resistencia de cargas tiene una diferencia en el retraso de aparición de grietas; esto es por los refuerzos de las mallas a lo largo de todo el casco. Ofreciendo una alta resistencia a la corrosión que presentan los metales y la podredumbre que surge en la madera.

Gracias al bajo costo de producción no requiere mano de obra especializada a la hora de realizar el casco. Del mismo modo su mantenimiento es mucho menos exigente. Es por eso que en países en desarrollo tienen un amplio número de trabajadores y subempleados; mientras que en países desarrollados se tiene un menor número de trabajadores, pero sin hacer una diferencia significativa.

Una de las grandes desventajas de este material es su peso y la baja resistencia que tiene a los impactos. Rasgos que son altamente demandantes en la industria marítima (naval).

Polietileno de alta densidad

Es un polímero que proviene del petróleo. En la actualidad es uno de los plásticos que más se utilizan para la fabricación de diferentes tipos de artículos; entre ellos los pontones modulares para plataformas (artículo que no interesa). Gracias a su

composición química y/o física cuenta con excelentes características para que sea aplicado en diferentes ramas de la industria.

Entre todas las características que tiene una resalta más, y esa es su resistencia. Volviéndolo un material duro, fuerte y muy resistente para la contención de materiales corrosivos y peligrosos (pesticidas y algunos ácidos). Del mismo modo tiene una tolerancia a la alta y baja temperatura (-60 °C y +80 °C).

Primeras Consideraciones

Flotación y estabilidad

Como se mencionó en los antecedentes, las plataformas tienen una gran área y su centro de gravedad es bajo, por eso en la ingeniería naval son considerados elementos flotantes estables. Para tener una mejor estabilidad en la flotación el peso de la carga debe estar correctamente distribuido y con una mayor presencia en el centro (en donde se ubicará la hidroarenadora). Si consideramos condiciones ideales, en donde se distribuya toda la carga (peso) de manera uniforme sobre la cubierta de la plataforma y, que no se sobre pase los límites máximos de peso, la plataforma no tendrá problemas de estabilidad, ya que, el centro de flotación y de gravedad estarán alineados y el metacentro estará por encima del centroide.

En condiciones donde no se respeten los límites máximos y la distribución de peso la plataforma sufrirá una rotación provocando un vuelco; esto debido a que el metacentro quedara por debajo del centroide. Para ayudar a los usuarios de la plataforma, se le colocará (pintará, dibujará) una línea a los costados; esta será visible para confirmar que la plataforma este flotando de manera correcta y a su vez que la carga este distribuida uniformemente.

Estructura de soportes, inferior y superior

Este elemento será de mucha importancia a la hora de construcción de la plataforma, puesto que debe proporcionar la dureza suficiente para no sufra problemas de flexión por toda la carga que se le colocará sobre ella. Ya que aparte de soportar todo ese peso, es el encargado de integrar todos los elementos de la balsa, del mismo modo proporciona la rigidez que los elementos flotantes (pontones) no tienen por si solos, ya que, se necesitan elementos adicionales para lograr esa característica.

Gracias a su bajo costo, abundancia en el mercado y excelentes características se puede llegar a tomar la decisión de utilizar un perfil metálico comercial, los cuales se pueden encontrar en casi todos los calibres (espesores) para dar esa rigidez. De la misma manera son fáciles de reemplazar en caso de que alguno de ellos sufra alguna deformación por mal uso o choque contra algún muro de contención.

Como se tiene previsto que esta estructura estará a la intemperie y en agua salada, se le dará un recubrimiento galvánico para evitar la corrosión. El material pensado para este recubrimiento es el zinc, el cual es el material más común para este recubrimiento; sin mencionar que muchos fabricantes venden los perfiles bajo el nombre de acero galvanizado.

Elementos de flotación

Para ayudar con la flotación y por los requerimientos iniciales se consideraba utilizar botellas de PET. Ya que, ofrecen un gran valor de flotación y pueden ser extremadamente barato este material (incluso puede ser reciclado). Se debe tener en consideración que no todas las botellas son iguales, algunas pueden tener capacidad que otras; aunque se buscaría que todas aquellas que sean utilizadas contengan el mismo volumen.

Así se podrán agrupar de manera más sencilla y no quedarán huecos en los arreglos que afecten la flotación, así como la estabilidad en las cantidades de botellas en cada uno de ellos.

Cubierta

Se considero emplear una cubierta con algún material antiderrapante o con algún acabado específico por la razón que todo el tiempo estará en contacto con el agua y pueden quedar pequeñas cantidades de ella sobre la superficie de la misma.

Este elemento será en extremo importante, puesto que en él van aplicar las cargas producidas por el peso de los materiales, maquinaria, trabajadores y provisiones. Del mismo modo también van actuar las fuerzas que ejerce el movimiento del agua y el empuje del sistema de flotación. Lo que nos da a entender que para una fijación sólida se deberán usar tornillos galvanizados para resistir todas estas cargas y resistir la corrosión del agua marina.

Barandales Perimetrales de Seguridad

Para seguridad de los tripulantes y estos puedan caminar de forma segura por la plataforma, se piensa colocar cuatro barandales; los cuales se pueden montar y desmontar de la cubierta. Estos a su vez proporcionarán estabilidad adicional, ya que, estarán fabricados de metal y se colocarán en los límites de la plataforma. Se debe considerar un barandal con puerta o semifijo, para la carga y descarga de material. La hidroarenadora no requerirá del uso de esta puerta, ya que, será montada en la balsa (plataforma) por medio de una grúa.

Capítulo 3

Geografía litoral de México

México es un país que está bañado por dos grandes cuerpos de agua, dos océanos que son el Atlántico y el Pacífico, dando una extensión litoral de 11,122 Km. Estas corresponden al golfo de México y al mar Caribe (Imagen 25). Con la extensión mencionada anteriormente se sabe que diecisiete entidades federativas tienen un porcentaje del litoral.

A continuación, se muestra una tabla (Tabla 2) con dicho porcentaje y la extensión.

Litoral de México por extensión			
Numero	Nombre	Litoral (km)	Extensión (%)
1	Baja California Sur	2131	19.2
2	Baja California	1493	13.4
3	Sonora	1209	10.9
4	Sinaloa	622	5.6
5	Nayarit	296	2.7
6	Jalisco	351	3.2
7	Colima	142	1.3
8	Michoacán	228	2.0
9	Guerrero	522	4.7
10	Oaxaca	568	5.1
11	Chiapas	266	2.4
12	Quintana Roo	1176	10.6
13	Yucatán	340	3.1
14	Campeche	425	3.8
15	Tabasco	200	1.8
16	Veracruz	720	6.0
17	Tamaulipas	433	3.9

Tabla 2. Extensión del litoral de México.

La mayor extensión del litoral corresponde a 10 estados y su longitud es de 7828 *Km*. La costa del pacífico tiene como principal característica la península de California, la cual forma una larga entrada de 1200 *km*. Esta longitud de litoral se le conoce como golfo de California o mar de Cortés; el cual se protege de las corrientes oceánicas. Gracias a su extensión este litoral tiene a lo largo todo tipo de clase de costas desde rocosas, escarpadas con acantilados altos, llegando a zonas de llanuras extensas, playas arenosas y llanuras mareales con valiosos ecosistemas.

El litoral ubicado en el pacífico se puede dividir en dos los cuales son: la península de California, con una longitud de más de 3600 *Km* y dos riveras bastante diferentes entre sí, la que está pegada (abierta) al océano y la que está por dentro (protegida). Y el litoral completamente continental, que comienza en la desembocadura del río Colorado (extremo noroccidental) y se extiende con dirección al cabo Corrientes (suroeste), continuando hasta alcanzar la desembocadura del Ocosingo, esto en el golfo de Tehuantepec (costa meridional del istmo de Tehuantepec).

El litoral localizado en la vertiente atlántica tiene una longitud de 3294 *Km*, y cubre seis estados. Este también se podría descomponer en dos partes, la norte que corresponde a la ribera del golfo de México; comenzando en la desembocadura del río Grande y describiendo un amplio aro con dirección sur hasta volver a cerrarse en dirección norte en el extremo de la península de Yucatán. Y la parte correspondiente al mar Caribe, con una extensión menor a 1000 *Km*, esto en el oriente de la península de Yucatán, partiendo del cabo Catoche y hasta la desembocadura del río Hondo en la bahía de Chetumal.



Imagen 25. Divisiones de los litorales de México.

Península de Baja California

También conocida como península de la baja California se encuentra ubicada al noroeste de México; internándose en el océano Pacífico conformando el golfo de California, el cual está entre su costa oriental y las costas del estado de Sonora y Sinaloa. Su longitud aproximada es de 1250 Km; comprendiendo los estados de Baja California y Baja California Sur.

Inicia en la frontera entre E.E.U.U y México y finalizando en un cabo de enormes estructuras rocosas, una de ellas es bastante conocida como “Arco Monumental”.

El área de la península es de 143,396 Km², la anchura media es variable teniendo en el tramo más estrecho una distancia de 40 Km y en la parte más ancha una distancia de 320 Km. Aproximadamente 3000 Km son de costa y cuenta con alrededor de 65 islas.

Gracias a la forma tan delgada o esbelta de la península es fácil llegar a las diferentes zonas turísticas y ecológicas que posee. Es por eso que está teniendo un gran desarrollo aeroportuario y turístico debido a sus playas, las cuales tienen agua más templada en el océano Pacífico y del mar de Cortes, ya que, son cálidas prácticamente todo el año.



Imagen 26. Ubicación de la península de Baja California.

Golfo de California

También conocido como mar de Cortés o mar Bermejo, se localiza al noroeste de México, es una prolongación del océano Pacífico, se ubica entre los estados de Sinaloa, Sonora y la península de Baja California. Su longitud es de 1126 Km, con una anchura que puede variar desde los 48 hasta los 241kilometros. Al norte de este podemos encontrar la desembocadura del rio Colorado. Su límite sur se definió como una línea que va de la barra de Piaxtla (en Sinaloa), hasta el sur de la península de Baja California.

Los puertos más importantes que podemos encontrar en sus costas son: San Felipe, La Paz, Guaymas, Puerto Peñasco, Puerto Lobos, Yavaros y Santa Rosalía.

Por estar ubicado en un clima subtropical padece de grandes variaciones climáticas, estas incluso son diario. En invierno la temperatura desciende considerablemente, sobre todo en la parte norte; por ende, se generan heladas. Mientras que, en la parte sur, sobre todo en el verano hay una presencia de tormentas tropicales. El golfo tiene por temperatura promedio 24 °C.

En este golfo podemos encontrar las mayores mareas de todo el planeta, ya que, se han registrado fluctuaciones de 9 metros. Esto derivado a su fondo marino, el cual es uno de los más abruptos del mundo; pues está conformado por estructuras submarinas como valles y cañones, los cuales recorren ambos márgenes del golfo. Generando abismos que fácilmente pueden superar los tres kilómetros de profundidad.

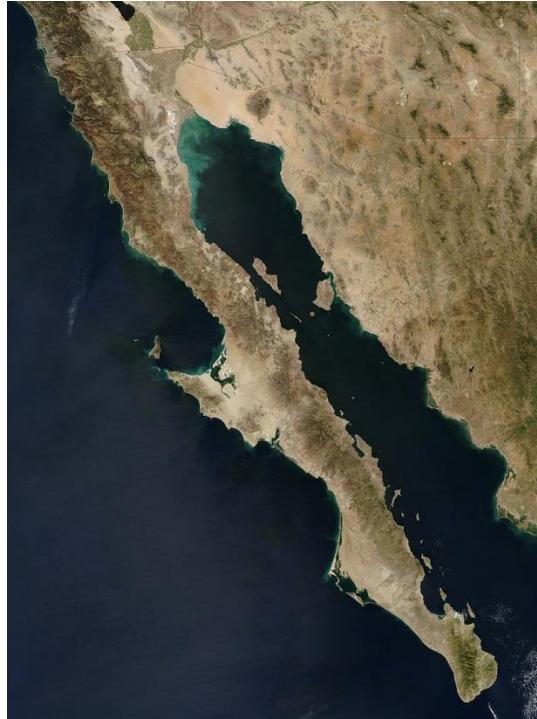


Imagen 27. Golfo de California.

Capítulo 4

Propuesta de Diseño

Una vez que se comentó el problema se plantearon diversas soluciones a este. Todas ellas recayeron en una plataforma, balsa, bote pequeño que pudiera circular por los estrechos espacios que hay en los puertos.

De la misma manera se empezó a contemplar la restricción del capital para la fabricación del vehículo naval.

La primera iteración contemplaba una estructura de madera reforzada; la cual estaría montada sobre redes de pesca que en su interior contenían botellas de PET. El inconveniente de esta idea es que se tenía que conseguir que todas las botellas fueran del mismo tamaño y así mismo se debían agrupar para que no estuvieran moviéndose aun cuando estuvieran dentro de las redes. Otro factor es que la madera tiende a sufrir mucho cuando se le expone a agua (incluso si esta está bajo un tratamiento especial).

La segunda iteración de diseño únicamente requería de pontones fabricados de polietileno de alta densidad, así como los componentes para sujetarlos y dar una forma de plataforma. Este tipo de estructuras es muy usado en algunos países de

Europa, el problema es que su costo de adquisición es muy alto y se necesitan varias capas para lograr una flotación adecuada cuando la carga es muy grande.

En la tercera iteración consulte diferentes tipos de aluminios para dar una ligereza mayor y del mismo modo dar una resistencia a la corrosión provocada por el agua de mar. En este punto encontré muchos tipos de aluminio llegando a uno en específico llamado: Aluminio grado naval. El cual soporta la corrosión, tensiones y esfuerzos provocados por el clima marítimo. De la misma manera este se puede moldear con diferentes geometrías que ayudan a obtener estructuras complejas para carga. Así también dentro de la estructura se puede colocar un sistema de flotación que de la misma manera sirva de ayuda para aumentar la carga que este pueda soportar. El inconveniente de utilizar esta propuesta es el capital, ya que, tan solo en la estructura de aluminio se llevaría casi todo el presupuesto establecido.

La última iteración contemplo metales; principalmente aceros, los cuales soportan grandes cantidades de carga sin sufrir deformaciones. En la mayoría de textos y aplicaciones en la vida real aparecían aceros y aceros inoxidable, aceros galvanizados. Estos tienen la característica de tener algún recubrimiento que les ayuda con la corrosión que se genera debido al agua de mar. Una ventaja es que el acero es barato y puede adquirir diversas geometrías y se pueden unir para construir grandes estructuras que soporten cargas pesadas.

Selección de materiales

Como se mencionó en el capítulo 2, se investigaron diferentes materiales y combinaciones entre ellos (materiales compuestos) que pueden ser de gran utilidad para el diseño de la nueva balsa.

En las siguientes tablas se hará una comparación y resumen de diferentes características entre distintos materiales utilizados en la industria marítima. Con ello se destacarán las características principales que son de interés para el proyecto.

Material	Densidad	Resistencia	Tensión de rotura (MPa), máxima tensión que un material puede soportar
Aluminio	2.7 Kg/m ³	40 a 45 kg/mm ²	483
PET	1350 kg/m ³	500 kg/cm ² con vidrio proyectado, hasta alcanzarlos 10.000 kg/cm ² con vidrio unidireccional al 90% en peso.	1500 para laminados, 3450 únicamente fibras
Polietileno de alta densidad	.952-.965g/m ³	930 kg/m ³ a 970 kg/m ³	37
Ferrocemento	Variable según sea su tipo malla	Depende de la cantidad de cemento	----
Madera	900kg/m	40 kg/mm ²	40
Acero Galvanizado	7860 kg/m ³	62 a 70 kg/mm ²	460 a 550

Tabla 3. Características de los materiales para la balsa.

Perfiles Comerciales

Son unos de los principales elementos utilizados en construcciones, ya que gracias a su gran variedad de dimensiones y geometrías pueden cubrir las diferentes necesidades que surjan en los proyectos.

Fabricados principalmente de acero al carbón rolando en frío o caliente, según la empresa encargada. A través de una aleación de diferentes elementos como el hierro y el carbono, así como cantidades mínimas de silicio, azufre, oxígeno y fósforo.

El proceso de manufactura por el cual se obtienen estos productos es el laminado. Este consiste en someter el acero en un circuito de rodillos los cuales se encargarán de darle forma; para facilitar este proceso los metales son calentados

para una mayor maleabilidad. Dichos materiales cumplen con las normas ASTM, las cuales son normas de calidad internacionales.

Para alargar la vida útil de estos perfiles se les da un recubrimiento como el galvanizado. Esto es para asegurar una resistencia a la corrosión y los climas adversos donde se puedan emplear, ya sea para la elaboración de estructuras metálicas livianas o pesadas.

Algunas de sus características son su flexibilidad, permitiendo crear construcciones complejas, son fáciles de manipular por lo cual soldar, perforar y cortar es sencillo a diferencia de otros elementos. También pueden ser macizos o huecos, por su aleación se pueden cubrir con diferentes tipos de acabado, tienen una gran versatilidad, pues son empleados en diferentes tipos de construcciones, tienen una resistencia a la tensión, el acero puede ser reutilizado para otros usos, pueden reducir el costo de construcción considerablemente y aligeran el peso de las estructuras.

Para dar una mayor descripción del proceso de laminado a continuación se detallarán sus características y en qué consiste.

Proceso de laminado

Se describe como un proceso de manufactura por el cual se obtiene una deformación plástica. El material (metal en su mayoría) es conducido de manera continua por un sistema de cilindros que ejercen fuerzas de compresión las cuales se aplican en las superficies de contacto entre los cilindros y el material empleado. Ambos cilindros giran en sentido opuesto logrando comprimir hasta el área deseada el metal. Un rasgo a destacar de este proceso es que se puede realizar en frío y caliente.

Por la misma razón este proceso requiere de una gran inversión de capital, principalmente porque los molinos son especiales; esto es para lograr una producción correcta a gran volumen de láminas y placas.

La vía más utilizada es el proceso en caliente, ya que permite una mayor deformación en el material empleado. De igual manera le otorga propiedades isotrópicas, quedando eliminadas las tensiones residuales por la laminación. Una desventaja de ejecutar el proceso es que no se pueden tener tolerancias adecuadas, puesto que la superficie de limpieza queda impregnada de una capa de óxido; la cual es característica de este proceso.

Como se mencionó anteriormente el laminado en caliente utiliza rodillos industriales especiales, con el objetivo de dirigir todo el material para darle una nueva forma (en su mayoría más delgada). Logrando llegar a estas gracias a las altas temperaturas que se manejan; superando la temperatura de recristalización de los metales.

El cambio que sufre el metal permite que sus granos adquieran una nueva configuración sin dislocaciones; volviéndolos más dúctiles y logrando que se puedan laminar las veces que sean necesarias.

Las temperaturas que se utilizan principalmente en el aluminio (aleaciones) y aceros están en un rango de 0.3 y 0.5 mayor a la temperatura de fusión de los metales. Permitiendo que cuando se introduzcan grandes volúmenes de material este se pueda deformar y darles forma para un nuevo proceso como es el caso del laminado en frío.

En el proceso de laminado en frío se trabaja bajo las temperaturas de recristalización. Las láminas y tiras de metal se dan con un mejor acabado superficial, debido a que la calamina no se presenta (material metálico) y con esto las tolerancias dimensionales mejoran, al igual que las propiedades mecánicas gracias al endurecimiento por deformación.

Tipos de perfiles comerciales

Por lo general se encuentran en diferentes tamaños y formas, con lo cual ofrecen diferentes características entre sí. Su clasificación depende de la geometría y formas en las que pueden ser compatibles (Imagen. 28); puesto que pueden llegar a ser curvas y rectas. Aunque los perfiles más predominantes en el mercado son los que tienen una configuración recta.

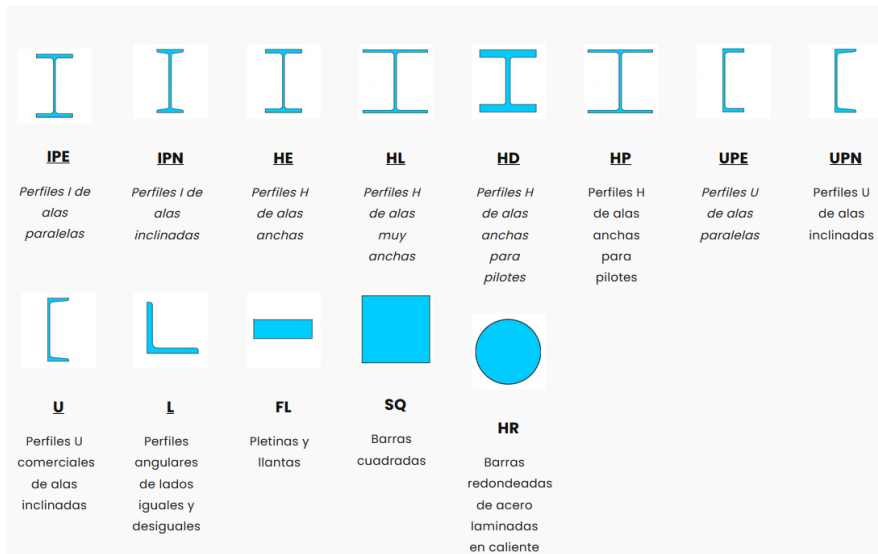


Imagen 28. Tipos de perfiles.

Perfil IPN

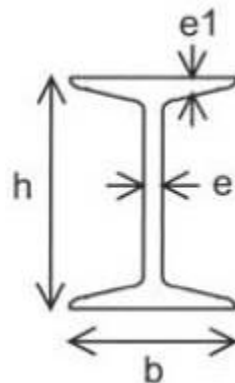


Imagen 29.

Es un tipo de viga laminada que cuenta con un espesor normal y una doble “T” como forma, aunque también se le conoce como tipo “I”. Su nombre lo recibe por su forma característica; en la cual podemos observar sus pestañas cortas e inclinadas, a diferencia de su proporción en el cuerpo de la geometría. Entre sus ventajas podemos encontrar un menor peso en la estructura, su diseño es simple, su calidad es mejor controlada.

Perfil IPE

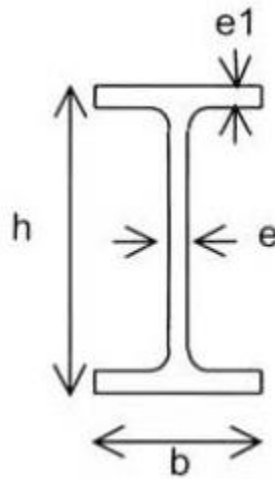


Imagen 30.

Es un producto laminado cuya alma tiene forma de "I" y a su espesor se le denomina europeo. Gracias a su espesor constante mantiene la misma dimensión en las alas y alma; esto es lo diferencia del perfil mencionado anteriormente (IPN). Otro detalle característico de este perfil es que la relación de altura y anchura de alas se mantiene en 0.66.

Perfil HEA

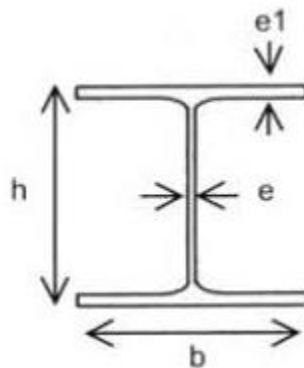


Imagen 31.

También conocido como perfil de alas anchas y caras paralelas tiene una forma bastante característica de "H". Este conjunto de geometrías se le designan las letras HEA, HEM o HEB; del mismo modo sus descripciones van acompañadas de

un número, el cual indica la altura nominal (h) tomada de referencia al perfil HEB. Todas las dimensiones son expresadas en milímetros. Su norma corresponde a la norma europea pues su sección transversal también se le conoce como una de doble "T", a diferencia de los perfiles IPE o IPN este tipo de geometrías tiene las alas más anchas y su por lo mismo es más ligero que el perfil HEB.

Perfil HEB

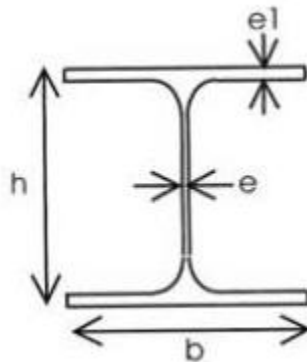


Imagen 32.

Construido por el proceso de laminado con sección "H" recibe el nombre de perfil Grey, ya que, es el perfil base del cual surgen los perfiles HEB y HEA, pero teniendo como rasgo ser un intermedio entre los pesos de los mencionados anteriormente.

Perfil HEM

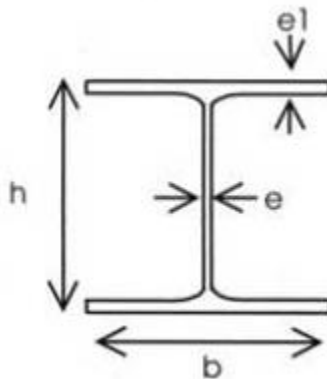


Imagen 33.

De igual manera es fabricado por el proceso de laminado, a diferencia de otros perfiles este es reforzado teniendo sus alas y alma con un espesor más grueso convirtiendo al perfil HEM como el más pesado de todos y demostrando que sus alas son aún más largas que los perfiles IPE e IPN.

Perfil forma U

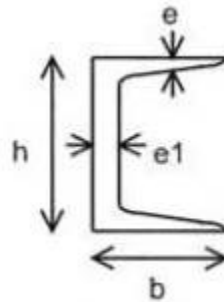


Imagen 34.

Este tipo de perfiles tiene la característica de que sus alas están inclinadas un 8% respecto de los otros mencionados anteriormente, por lo mismo su espesor es decreciente hacia los extremos.

Principalmente empleados como soporte y pilares; en este último caso soldan dos perfiles por las alas y dejan un perfil casi rectangular, destacando por el momento de inercia respecto a sus ejes principales.

Perfil UPN

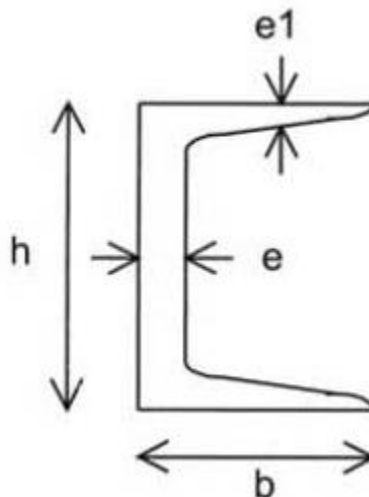


Imagen 35.

Este tipo de perfiles manejan una estandarización dimensional que dicta la norma EN 10365, y del mismo modo mantienen tolerancias de fabricación de la norma EN 10279:2000. Su geometría lo hace extremadamente útil en diferentes tipos de construcciones, maquinaria y comercios.

Perfil T simple

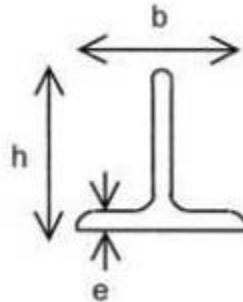


Imagen 36.

Es un prisma mecánico que tiene una forma "T". El extremo de su alma mantiene una forma redondeada, sus alas en la parte interna tienen una inclinación del 2% respecto a la parte externa. Por su geometría es usado en vigas para lozas, chasis de remolques, estructuras de paneles y alambrados; aclarando que son para terminación de las mismas.

Selección de perfil

Para llegar a la elección adecuada que nos ayudará con uno de los objetivos fijados se hará uso de una matriz de selección. En donde solo se mencionarán los datos más relevantes para el proyecto

Esta tendrá como guía las características importantes para este trabajo. Mediante flechas se señalarán aquellos elementos y características que son relevantes y pueden ayudar a plantear más de un prototipo.



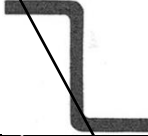
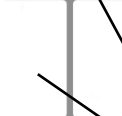

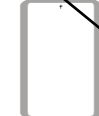
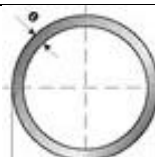
Perfil	Materiales	Geometría	Recubrimiento
Rectangular PRT	Acero inoxidable		Niquelado
Tubo circular	Aluminio		Anodizado
Perfil W (I)	Acero Galvanizado		Cromado
Perfil C	Hierro		Cobrizado
Perfil IPN	Acero al carbón		Galvanizado
Perfil L	Aluminio Naval		Zincado
Perfil Z	PVC		Pinturas

Tabla 4. Características de los materiales para la balsa.

Capítulo 5

Diseño de Balsa

Planteamiento

Uno de los requerimientos para este trabajo es el poder transportar por tierra la balsa. Lo que nos da algunas pautas para empezar a plantear el problema.

Considerando algunos diseños que se encuentran en el mercado y algunos prototipos que aún están siendo probados, se tomará como uno de los parámetros principales los contenedores estándar de remolques; por los cuales se envían

artículos por carreteras. De la misma manera se escogerán materiales que soporten toda la carga (máxima) sin sufrir algún daño o deformación permanente, y que sean capaces de resistir la corrosión generada por el agua salada de mar.

Para su diseño se considera que la balsa deberá soportar una carga máxima de 30 toneladas. Esto es para ofrecer una confiabilidad mayor a los usuarios. En este parámetro se deben considerar las diferentes distribuciones de material de trabajo (cargas) como son: hidroarenadora, víveres y carga viva (tripulación); de igual manera se debe considerar otros elementos que se usan en las embarcaciones, por ejemplo, ancla (no siempre estará sobre la balsa), alguna carpa o techo para proteger a la tripulación del sol, salvavidas, entre otros.

Se proponen dos sistemas de soportes para el diseño; así se delimitarán las partes enfocadas en flotación y en carga.

Para la parte de los metales, lo que comprende la cubierta, el soporte inferior y superior, se proponen dos estructuras metálicas (armables y desarmables), las cuales se puedan unir mediante tornillos galvanizados que se van a dividir cada una en cuatro partes. La cubierta por su parte estará sujeta mediante tornillos al soporte superior.

Con base a los diferentes textos estudiados durante la elaboración de este trabajo, se llegó a la idea de crear módulos independientes o secciones; que del mismo modo sean compuestas por elementos más pequeños; las cuales se puedan unir entre sí para la elaboración de la balsa (plataforma). Estos módulos deben tener una forma geométrica simple que permitan el fácil montaje y desmontaje de la estructura, así como la flotación y estabilidad de la misma. Deben tener un mejor acomodo para aprovechar los recursos y el espacio delimitado desde un inicio. La geometría que se consideró en un inicio fue el hexágono; esto es por un documental visto sobre las abejas y su arquitectura interna de los panales. Los cuales están compuestos de celdas hexagonales en donde aprovechan al máximo el espacio interno de los mismos.

El problema es que una geometría de ese tipo es complicada de fabricar tanto en el sistema de flotación como en las estructuras metálicas (sin tomar en consideración el costo que puede llevar utilizar esta forma). Por lo anterior la geometría que se utilizará como base para crear los elementos de armado es un rectángulo, la configuración será de prismas rectangulares que ayudarán a que no se requieran tanto trabajo de ensamble y desarmado.

Diseño inicial

Para este diseño se proponían dos soportes independientes que fueran armables y desarmables: una configuración de perfiles W(l) y C que tuvieran como característica poder ser ensamblados por medio de pernos de 1", estos se unirían por medio de aletas que conformarían diferentes secciones para un fácil transporte. El problema fue cuando se comenzaron a realizar simulaciones. Se demostraba que, aunque el material fuera resistente las configuraciones no eran las correctas. A continuación, se mostrará el ensamble de los elementos (esto para ayudar con la descripción).

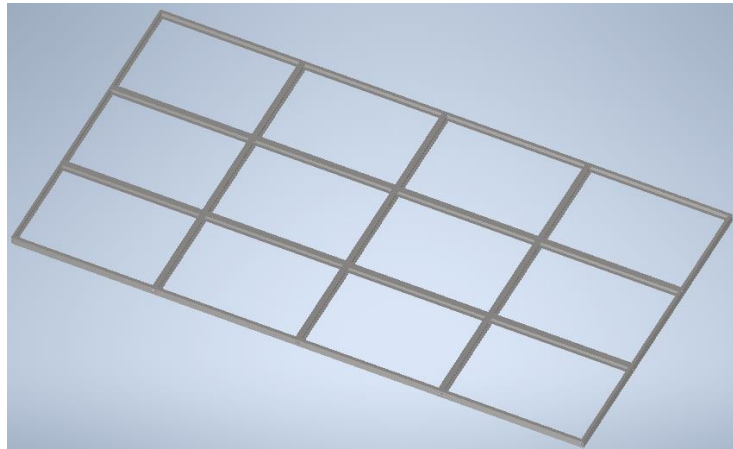


Imagen 37. Primer ensamble para soporte superior.

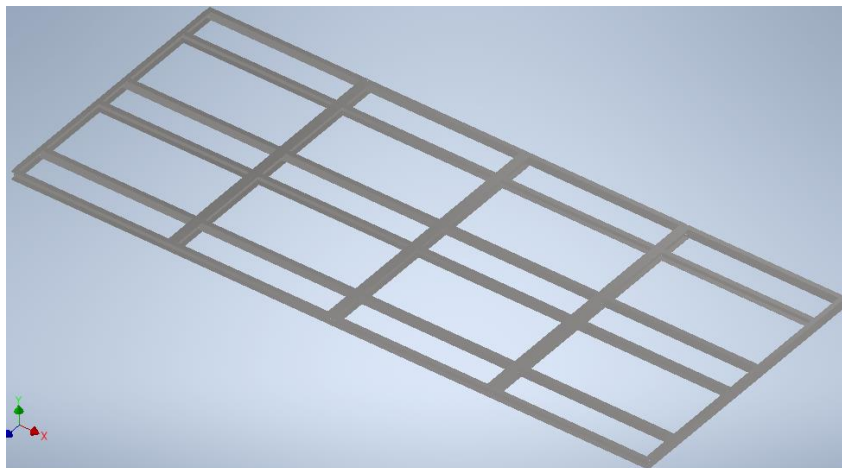


Imagen 38. Primer ensamble soporte inferior.

Capítulo 6

Diseño Final

Para el modelo final de la balsa se propusieron dos configuraciones principales, las cuales su diferencia radica en el soporte superior.

Para el primer soporte se empleará una combinación de perfiles rectangulares con un espesor de 6 mm y 4 mm, sumado a eso también contará con perfiles tipo C de 6 mm de espesor.

La segunda configuración utilizara todos los perfiles rectangulares de 4 mm, incluyendo los tipos C.

Estos perfiles estarán fabricados con acero galvanizado, el cual es resistente a la corrosión del agua de mar. También tiene grandes características mecánicas y de resistencia que serán de mucha ayuda para la balsa. Como los dos soportes están contemplados para ser del mismo material a continuación se describirán las características más relevantes para el proyecto.

Acero galvanizado				
Fluencia Mpa	Resistencia MPa	Módulo de elasticidad Mpa	Módulo de Young	Esfuerzo máximo MPa
350	450	280	200	360

Soporte superior

A continuación, se describirán y mostraran imágenes de los elementos que conforman el soporte superior.

El soporte combinado consta de 4 largueros verticales principales, con una longitud de 10 metros, 3 horizontales con una longitud de 5 metros. Se les denomina principales porque tienen el mayor espesor a diferencia de los otros largueros.

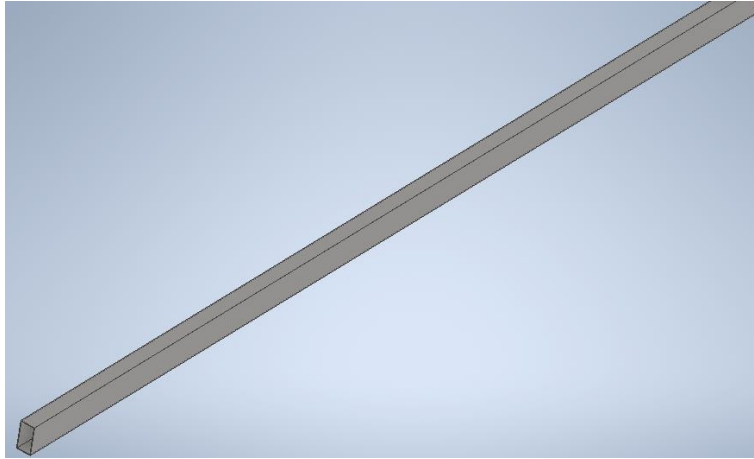


Imagen 39. Larguero principal de 10 m.

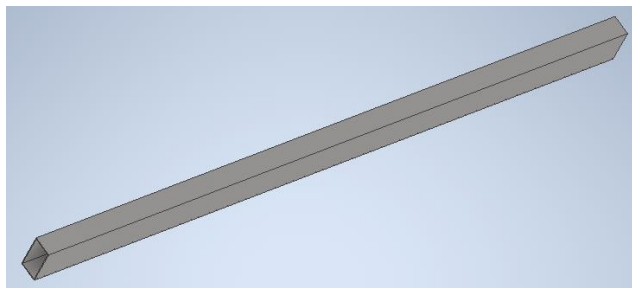


Imagen 40. Larguero principal de 5 m.

De igual manera cuenta con 3 largueros verticales secundarios con una longitud de 10 metros, y 4 largueros horizontales de 5 metros. Estos tienen un espesor menor a los principales.

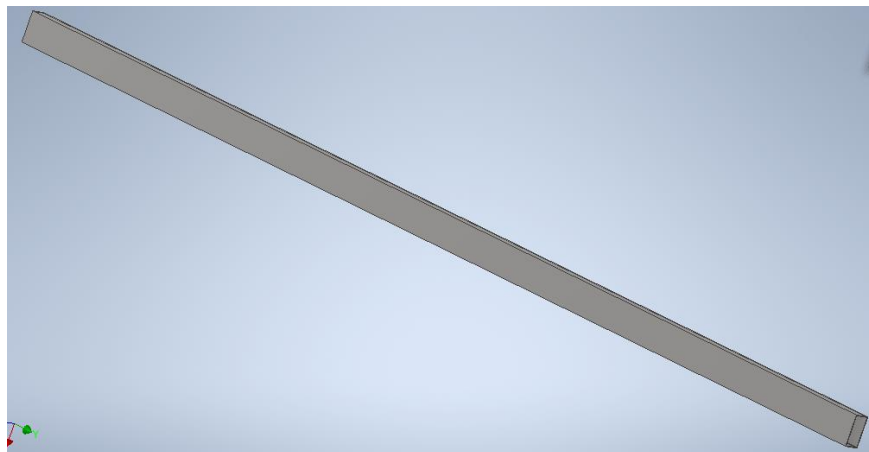


Imagen 41. Larguero secundario de 10 m.

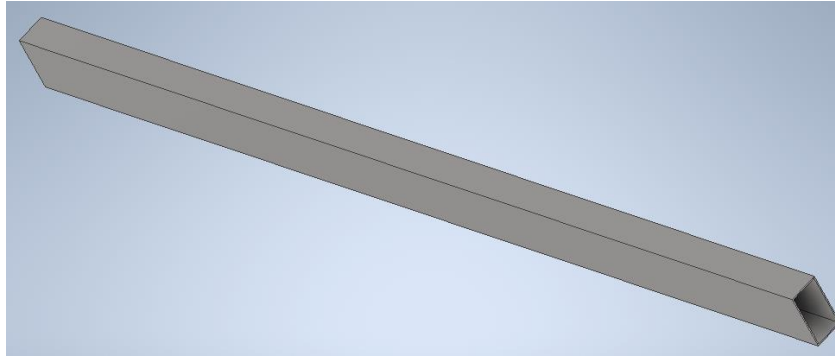


Imagen 42. Larguero secundario de 5 m.

También se cuenta con dos perfiles C de 5 metros de longitud que estarán en los bordes de la balsa. Estos tendrán los seguros que sujeten a los dos soportes.

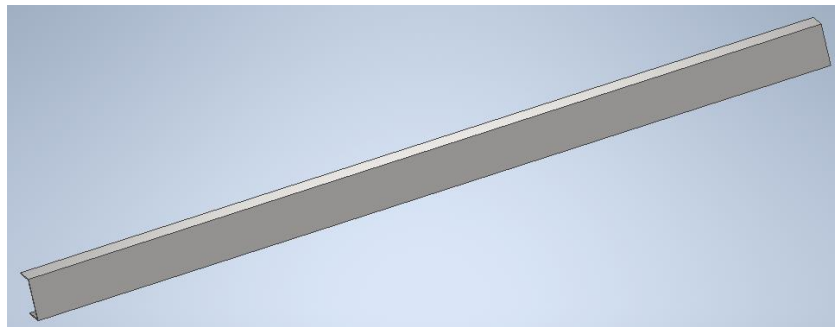


Imagen 43. Larguero perfil C de 5 m.

La segunda configuración del soporte superior de la balsa será con todos los largueros (principales y secundarios) del mismo espesor, incluyendo los perfiles C de los extremos. Contará con 7 largueros verticales de 10 metros y 7 largueros horizontales de 5 metros, los perfiles C sean 2 con una longitud de 5 metros. Al tener la geometría de los perfiles anteriores no se considera necesario colocar imágenes.

Soporte inferior

Este elemento además de soportar la carga que se aplica al otro soporte sirve como sistema de sujeción para el sistema de flotación (del que se hablara más adelante).

Consta de una combinación de perfiles C y W(l), en donde la mayor cantidad recae en los tipos C, ya que, tiene 2 de 4 metros y de espesor 4 mm, por la parte

interna cuenta con 3 pares de aletas que ayudan a sujetar los otros perfiles C; que del mismo modo tienen un espesor de 4mm.

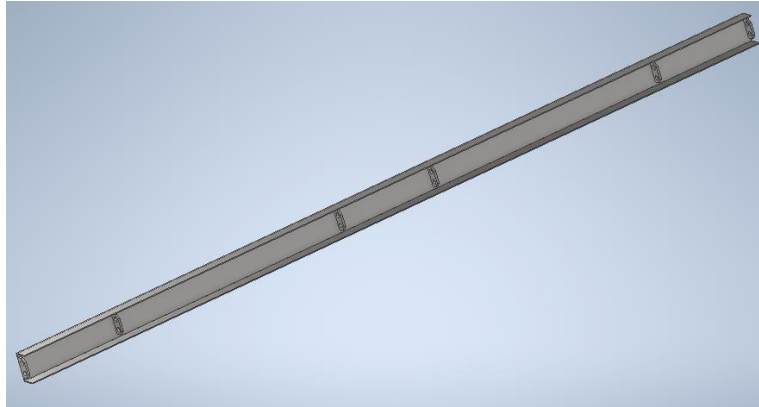


Imagen 44. Perfil C de 4 m de longitud con aletas.

El siguiente elemento es un perfil tipo C de 2.5 m de longitud, se necesitan 24 de ellos para tener la estructura completa. Se debe mencionar que estos no tienen aletas, ya que, estarán sujetos con los Perfiles C largos y el siguiente elemento.

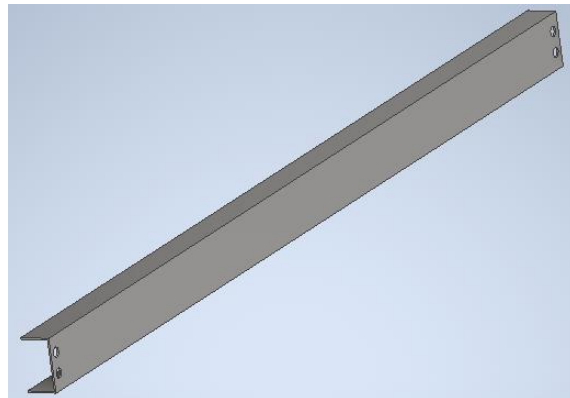


Imagen 45. Perfil C de 2.5 m de longitud.

El último perfil que conforma este soporte es un perfil W, también conocido como perfil I. Se necesitan 3 de ellos con una longitud de 4 m. Al ser los elementos que conectarán los otros perfiles también contarán con aletas para sujetar cada uno. Estos pares de aletas estarán por ambos lados. Su espesor es de 4.5 mm, tanto en el alma como en las alas.

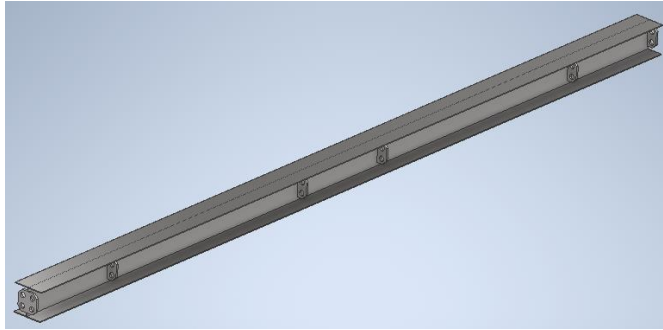


Imagen 46. Perfil W de 4 m de longitud y 6 pares de aletas.

Base de soporte y barras PTR

Es un sistema que ayuda a la balsa en caso de que sea colocada en tierra y le coloquen carga, cuando se encuentra flotación ayuda a los pontones con la distribución de carga, así como el resto de perfiles que complementan esta configuración.

Del mismo modo que el soporte tiene dos variantes, una de ellas con una combinación de perfiles PTR de espesor de 6 y 4 mm, mientras que la otra es una configuración completamente de perfiles PTR de 4mm de espesor. Complementando la base, se tiene una configuración de tubos PTR permiten la unión de los elementos soporte y base; en el primer caso se mantiene la configuración de perfiles de espesores de 4 y 6mm, mientras que en el segundo solo se tienen perfiles con espesor de 4 mm.

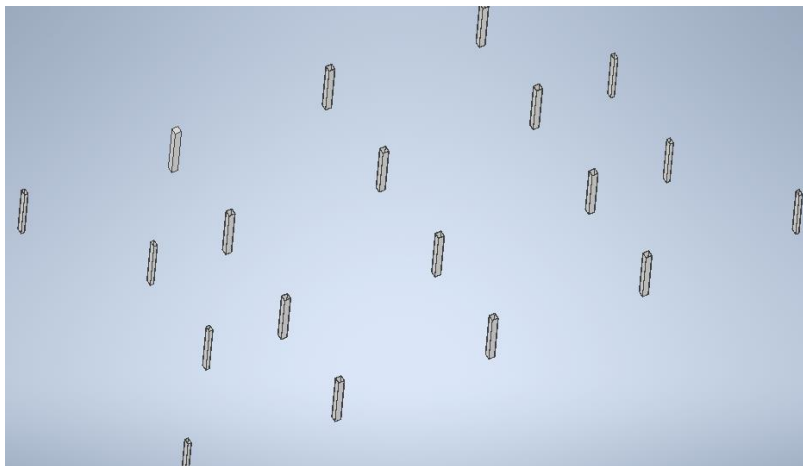


Imagen 47. Perfiles PTR de unión entre base y soportes.

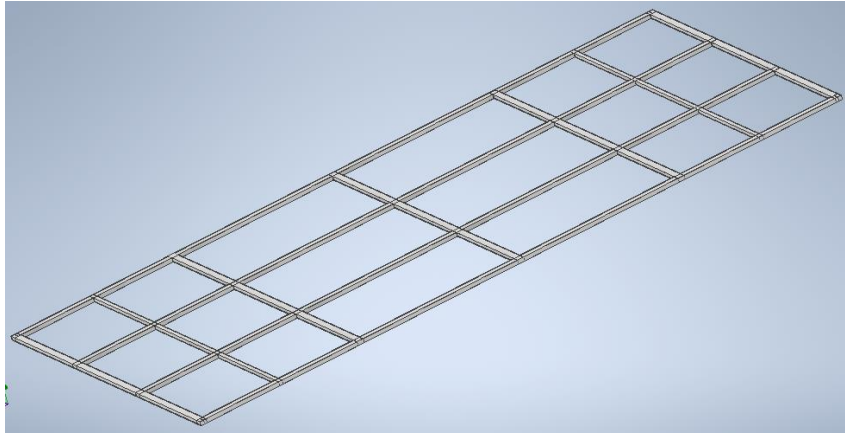


Imagen 48. Base de soportes, combinación de perfiles.

En la parte central es donde se colocarán los perfiles con el mayor espesor, ya que es ahí donde estará ubicada la hidroarenadora (el objeto con mayor peso), por sus características físicas se considera la principal carga que estará sobre la cubierta, misma que abarca el largo y ancho de la balsa.

Cubierta

Este elemento recibe directamente la carga ejercida por cada objeto que se coloca sobre ella (carga viva y carga muerta). Su nombre más popular es rejilla tipo Irving, con un espesor de 3 mm y altura de 30 mm (dimensiones comerciales); fue seleccionada para aligerar y reducir el peso de la estructura total.

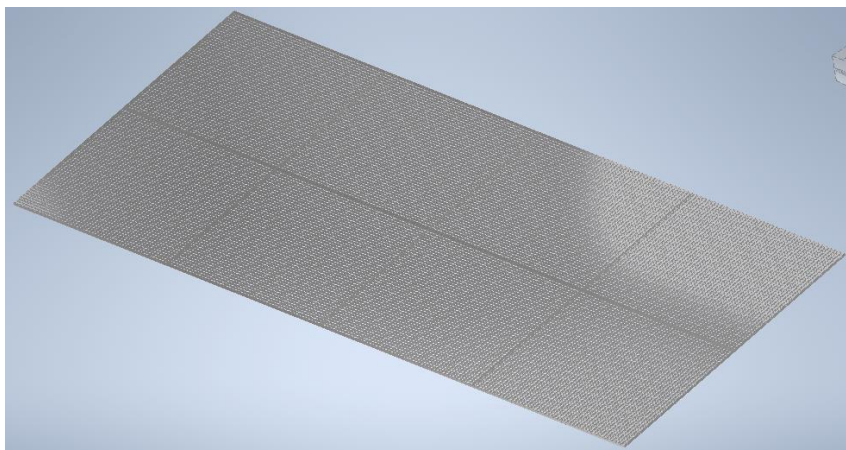


Imagen 49. Rejilla completa para la balsa.

Pontones de Flotación

También conocidos como pontona; son un tipo de casco o embarcación, las que pueden estar fabricadas por diferentes materiales como el acero, polímeros (plásticos) o de madera (usados con mayor frecuencia en la antigüedad). Una de sus características principales es la forma en la que pueden fabricar, la cual es un paralelepípedo.

Con esto se puede generar diferentes geometrías unificando pontones para lograr una estructura deseada. Se utilizan para transportar diferentes tipos de cargas, desde materiales (mercancía, víveres, repuestos, etc.) hasta personas. En algunos casos se emplean para mover grúas, como apoyo o soporte de puentes y construcciones.

Fabricación de los Pontones

Para desarrollar este tema comenzaremos hablando del proceso de fabricación del moldeo por soplado. Originalmente este proceso se utilizaba para fabricar piezas de vidrio huecas; en la actualidad se emplea para la fabricación de piezas huecas de plástico.

Este proceso de manufactura (moldeo por soplado) comenzó fundiendo plástico y formando un segmento de tubo con un agujero en uno de sus extremos (también llamado parisonte), esto para permitir el flujo de aire comprimido [16]. Mientras que en el moldeo por soplado con estiramiento y en el moldeo por inyección se utilizan un molde o "preforma". Para realizar este proceso el parisonte es sujetado al molde y se le inyecta aire, esto provoca que la presión empuje hacia afuera el plástico y este adquiera la forma del molde. Una vez que el plástico se endurece y se enfría la pieza puede ser expulsada.

Tipos de moldeo por Soplado

En la industria existen 3 principales tipos de moldeo por soplado y a continuación los describiremos brevemente:

Moldeo por soplado de extrusión

Consiste en tomar el plástico fundido y extruirlo a través un parisonte dentro de un molde con aire comprimido. Tiene dos variantes, proceso continuo e intermitente.

Moldeo por soplado

Generalmente la industria lo utiliza para producir grandes cantidades de botellas de una sola porción; en su mayoría son de plástico. Para producir objetos huecos el proceso consiste en inyectar un polímero por medio de un pasador central. Una maquina se encarga de hacer girar una espiga hasta una estación de moldeo, en donde el soplado inflará y enfriará la pieza. Este proceso impone restricciones a la hora de diseñar botellas, ya que, las botellas carbonatadas solo pueden tener una base de champán.

Moldeo por inyección

Este proceso es ideal para las botellas cilíndricas, ovaladas y rectangulares. Consta de dos métodos diferentes entre sí (una o dos etapas).

En el proceso de una sola etapa se emplea la misma máquina para la fabricación de la “preforma” así como para el soplado de las botellas. Se utiliza más cuando se trata de volúmenes pequeños y tiradas cortas.

En el caso de dos etapas (fases), el plástico se acopla a una “preforma” mediante la inyección. Después se prosigue a envasar e introducir las “preformas” (una vez que se enfriaron) en una máquina de moldeo por soplado con recalentamiento. Requiriendo una gran superficie y un alto nivel de inversión en el capital, este puede producir cantidades de volumen elevadas y no presenta tantas restricciones a la hora de diseñar botellas. De igual manera puede dejar las botellas para que un tercero haga el proceso de soplado.

Recorte por rotación

Si no es un proceso de soplado se relaciona mucho con este. Se genera cuando una cuchilla se encuentra girando o dando vueltas alrededor de un molde o envase con un exceso de material y esta corta todo ese excedente de material y se recicla para crear moldes nuevos.

Diseño inicial de pontones

Polietileno de alta densidad				
Modulo elástico GPa	Coficiente de Poisson	Resistencia compresión Mpa	Resistencia a la tracción MPa	Tenacidad a la fractura MPa
1.07-1.09	.41-.427	18.6-24.8	22.1-31	1.52-1.82

Para los pontones de flotación se eligió el polietileno de alta densidad, por sus características mencionadas en el capítulo 2. Estos además de poder flotar deberán soportar la carga que se aplicara en la balsa.

Otro rasgo a considerar es que deben tener geometrías fáciles de fabricar, para no elevar su costo y mucho menos exceder el límite que se tiene y ahorrar en recursos.

La figura base de la cual se partió es un elipsoide, así se tendría un lado para colocar sobre los pontones la estructura de metal. Pero como se deseaba que los pontones y la estructura trabajaran en conjunto para soportar la carga total se comenzaron a realizar algunas modificaciones. Una de ellas, es que entre pontones se debían poder ensamblar; con la intención de que pudieran ser fáciles de transportar sin dimensiones excesivas. Otro es que se pensó en la posibilidad de que si un pontón sufría daño podría ser reparado fácilmente sin que afectara una gran parte de la balsa o en su defecto dejándola fuera de operación durante el tiempo de reparación.

Se han diseñado 4 tipos de pontones, 2 de ellos son casi idénticos. A continuación, se describirán cada uno de ellos junto con la función que desempeñan.

Para la parte de enfrente de la balsa se diseñó un pontón rompe olas; aunque no vaya a ser utilizada en mar abierto y básicamente su uso sea para costa se debe considerar que debe estar equipado en el sistema por si el oleaje llega a aumentar en algún momento. Todos los pontones tienen la misma altura y anchura, lo que podría reducir el costo de producción.

El pontón rompe olas se colocará en la punta de la balsa ayudando a que las olas no golpeen de manera directa la estructura, mientras que el pontón final es de apoyo y guía para poder armar el sistema de flotación. Se requiere 3 de cada uno (uno por línea de flotación). Cuentan con una ranura en donde se colocará los perfiles C del soporte inferior, también mejorando la sujeción de los sistemas.

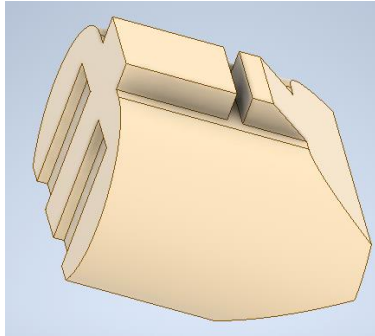


Imagen 50. Pontón rompe olas.

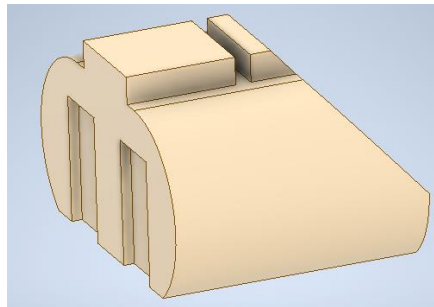


Imagen 51. Pontón final.

Para las partes internas de las líneas de flotación se tiene 2 tipos de pontones, uno de ellos tiene una ranura en la cual se apoyará el perfil W del soporte inferior, así tendrá un mayor soporte protegiendo la integridad de los elementos. El segundo tipo de pontón es para completar los espacios en los cuales no hay perfiles W y se requiere solo apoyo en los mismos. Así quedan formadas las líneas.

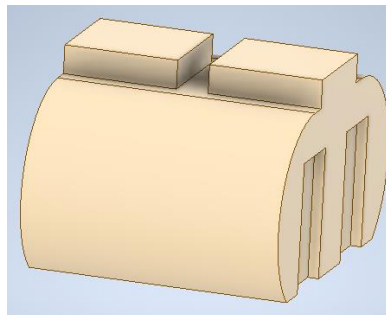


Imagen 52. Pontón intermedio para perfil W.

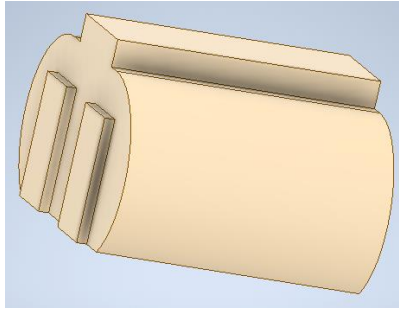


Imagen 53. Pontón intermedio sin ranura.

Primer ensamble de los pontones

El primer diseño requirió de 27 pontones, con los que se cubría lo largo y ancho de la balsa, con ello también se ayudaba al soporte de la estructura de metal para soportar la carga aplicada.

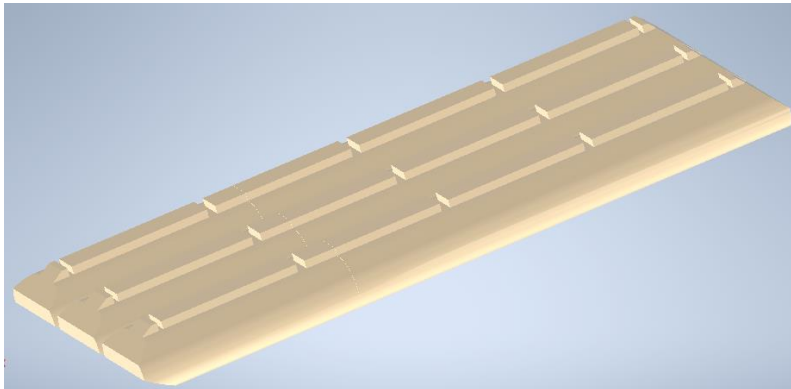


Imagen 54. Primer ensamble de pontones.

El inconveniente con estos pontones era lo ancho que se abarcaba, ya que chocaban con los perfiles que unían la base y con los soportes. Por lo que se realizó una modificación de geometría y simplificándolos en rectángulos con una menor anchura. Así los mismos quedarían dentro de la estructura de metal y quedarían protegidos en caso de un choque con algún otro barco.

Nuevo diseño de pontones

Uno de los elementos que se tuvieron que rediseñar son los pontones, si bien su diseño inicial no tenía inconvenientes de flotación sí tenía propiedades que no

podían ser compatibles con la estructura metálica. El radio de los pontones era demasiado grande y se empalmaba sobre los barrotos de soporte. A nivel de software no presentan un inconveniente. El problema surge cuando se quiere hacer un análisis de esfuerzos y las piezas ocupan el mismo espacio.

Físicamente eso no es posible, aunque el software lo permita e ignore esta condición se debe tener presente esta consideración desde el inicio.

Otro punto a considerar es que el programa utilizado para realizar las simulaciones tiene problemas en un apartado de contactos, entre más contactos se tengan el programa tiende a marcar error y a parar el proceso (cabe mencionar que esto también es producido por el poder de cómputo disponible, así como la licencia utilizada). En el capítulo de resultados se hablará más a detalle de esos.

A continuación, se muestra en la imagen los detalles que surgieron cuando se utilizó para el ensamble los pontones de radio grande.

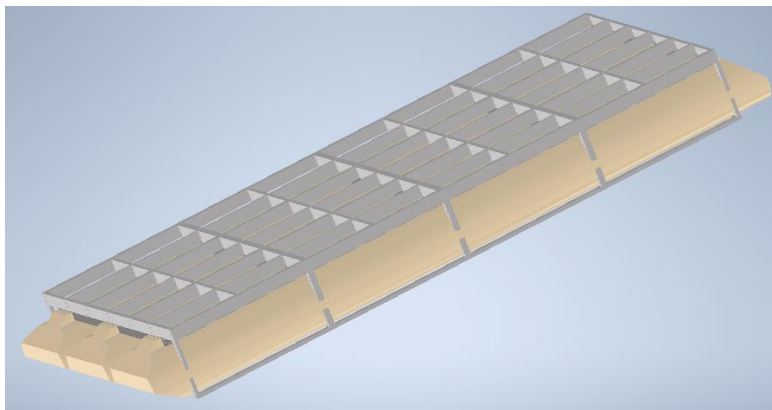


Imagen 55. Pontones de radio grande.

Si bien estos no cubren una superficie grande de los barrotos esto no puede suceder de manera física. Rediseñar los pontones para que tuvieran una cavidad especial justo en la zona de contacto, provocaría que los moldes fueran más complejos y por ende aumentara el costo de fabricación.

Aunque la geometría semicircular sea la mejor para ayudar con las corrientes y el movimiento del agua de mar, esta sobre sale de la estructura metálica. El nuevo diseño elimina estos radios y sustituye una forma semicircular por una geometría de un prisma rectangular.

Estos son más compactos y no sobre salen de los soportes. Manteniéndose por dentro de la estructura sin cubrir superficies de los barrotos. A continuación, en la imagen 56 se muestra a detalle.

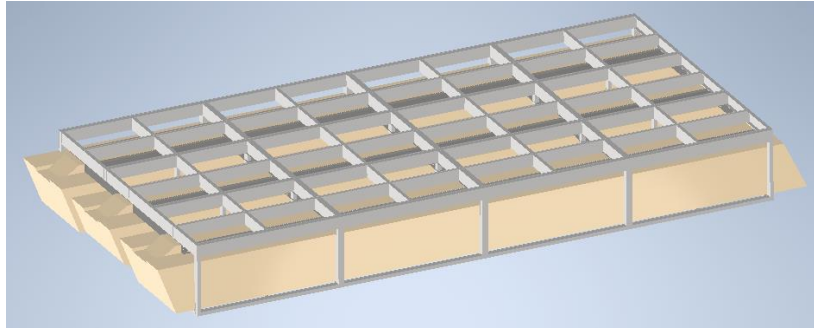


Imagen 56. Ensamble con el nuevo diseño de pontones.

Con el nuevo rediseño únicamente se elimina el radio que tenían los pontones. Mantienen las mismas características de alto, largo y espesor del primer diseño; así como las geometrías para ensamble entre ellos. La diferencia principal es su ancho, se vuelven más angostos, esto no quiere decir que pierden su capacidad de carga o flotación. Pasan a tener un ancho de 1376 mm a diferencia de los 1550 mm que tienen los pontones de radio grande, en la siguiente imagen se muestra la diferencia entre ambos pontones.

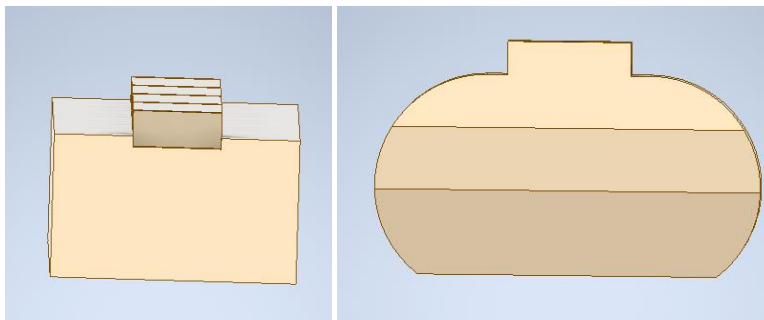


Imagen 57. Diferencia en el ancho de los pontones.

Ensamble de elementos

El conjunto de elementos nos da una balsa con las siguientes dimensiones *10 metros de largo, 5 metros de ancho y 1.23 de alto*, cabe mencionar que el largo mencionado es el de la cubierta, ya que, este será la superficie utilizable para trabajar. Puesto que los pontones tienen un largo de *11 metros* cuando están en conjunto.

Como se mencionó con anterioridad en este capítulo, se propusieron dos variantes de espesor para los elementos del soporte superior. Siendo la primera una combinación de perfiles con espesor de 4 mm y 6 mm, mientras que la otra tiene

un espesor de 4 mm en todos los componentes del soporte superior. Visualmente no se nota diferencia entre ellos, en los resultados es donde se aprecian las diferencias.

A continuación, se muestra la balsa en ensamble y de manera de explosivo mostrando los componentes de los sistemas; solamente se pondrá de uno, por lo que se mencionó con anterioridad.

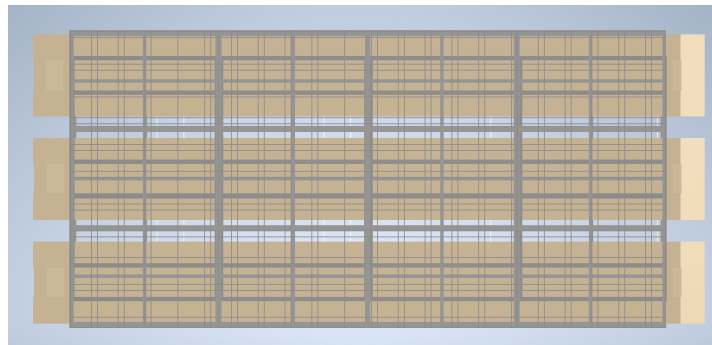


Imagen 58. Vista superior.

Como se puede observar en la imagen 58, los elementos que más destacan son los soportes y los pontones, la cubierta por otro lado no se aprecia bien, puesto que es una rejilla tipo Irving.

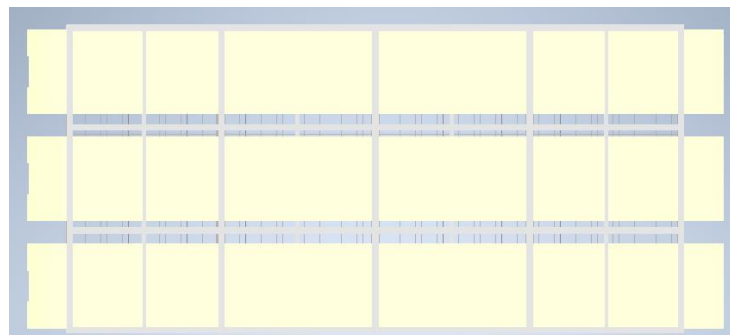


Imagen 59. Vista inferior del ensamblaje.

En esta vista destacan los pontones y el soporte superior que los rodea. El contraste de la imagen provoca que no se aprecie bien la parte inferior de la balsa.

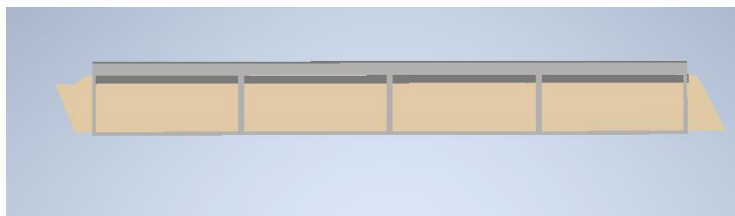


Imagen 60. Vista lateral.

En esta vista se pueden observar todos los elementos que conforman la balsa. De la misma manera se puede observar una variación de colores, esto es para poder diferenciar entre la cubierta, soporte superior y el soporte inferior.

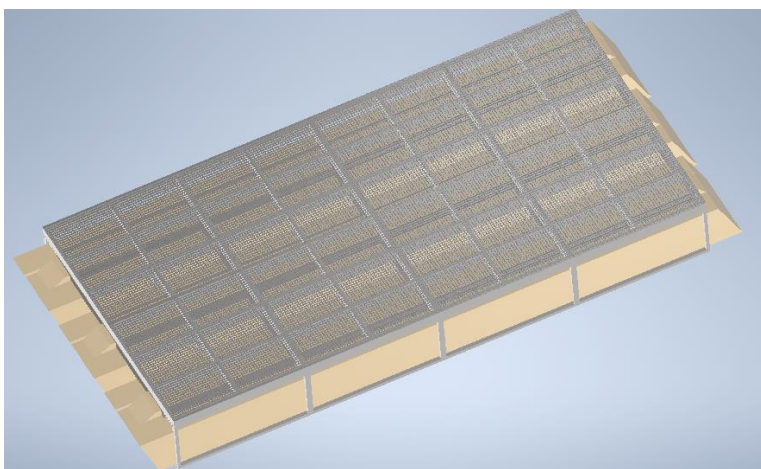


Imagen 61. Visa de perspectiva.

Esta última imagen del ensamble solo es para poder mostrar que la rejilla se encuentra en la parte superior del ensamble, pero al ser tan fina se pierde en el programa y no se logra apreciar con las otras vistas.

Diagrama explosivo

Al ser un diseño tan grande (por las dimensiones) y por el capítulo en donde se habla de los componentes, dimensiones y geometrías que este tendrá; así como cuantos componentes tiene cada uno, únicamente se mostrar el diagrama en total y en conjunto de cada sistema.

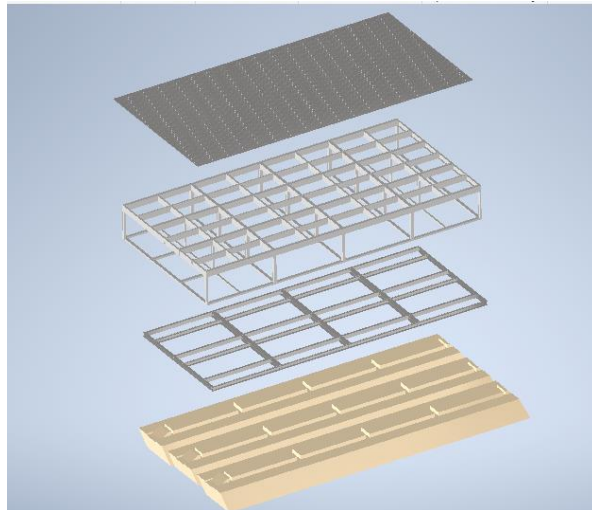


Imagen 62. Diagrama explosivo.

En la imagen anterior se muestran cuatro sistemas que comprende la balsa. De arriba abajo se mencionará cada uno de ellos. En primer lugar, tenemos la cubierta de rejilla tipo Irving, debajo de ella sigue el soporte superior, una estructura que envuelve a los otros sistemas para soportar toda la carga. Debajo de este tenemos el soporte inferior; el cual mide lo mismo en longitud que el soporte superior, pero en el ancho mide cuatro metros. Por último, tenemos el conjunto de pontones que se divide en tres filas, lo que otorga un mayor volumen de agua desplazado, así como una mayor ayuda en la estructura para soportar la carga.

Capítulo 7

Análisis en elemento finito

Para este capítulo se hará uso del software de diseño y análisis de elemento finito “Autodesk Inventor” y de una de sus herramientas llamada “Autodesk Inventor Nastran”. Este programa de cómputo es una herramienta muy utilizada para el diseño de elementos desde una simple tuerca hasta conjuntos de engranes complejos.

Como es sabido, este tipo de programas son muy potentes, requieren de grandes cantidades de memoria para el procesamiento y así funcionar de la manera correcta. Con estas características se comienza a mencionar que este programa también cuenta con limitantes internas (del mismo desarrollador), ya que, si el diseño y/o su análisis es muy complejo este podría saturar la memoria del sistema y por ende se pararía el proceso.

Del mismo modo se tiene que el tipo de licencia empleada para desarrollar este proyecto fue una para especial para alumnos. La cual cuenta con restricciones en diferentes aéreas, por ejemplo, el diseño de la rejilla tipo Irving. Esta fue complicada para elaborar sus patrones, ya que el poder de cómputo provocaba que el sistema tuviera una sobre demanda de memoria y tardara mucho en funcionar.

Por lo que al momento de generar el ensamble para el análisis de esfuerzos ésta generaba errores de mallado y contactos. Si bien el tipo de contacto utilizado era simétrico, de superficie a superficie estos provocaban que los patrones provocan que el programa no logre reconocer toda la superficie y se tuviera que cerrar súbitamente el programa. Es por esta razón que se optó por modificar esta estructura para simplificar el análisis, así como el que los sub ensambles se hicieran sólidos únicos, para poder generar mallas más simples y una cantidad de nodos inferior a la que se genera cuando son elementos pequeños.

Comencemos hablando del entorno de Inventor Nastran, en el cual se debe tener establecer todas las propiedades necesarias y suficientes para el análisis de esfuerzo. Para iniciar debemos quitar las restricciones, sólidos y materiales que nos arroja el software, ya que, en su mayoría toma consideraciones erróneas y plantea sólidos diferentes a los deseados.

Se comienza a trabajar en el entorno Nastran estableciendo las idealizaciones de los elementos. Para esto se debe seleccionar la opción de idealización y crear un nuevo sólido, renombrarlo y del mismo se debe elegir un material para este. Dicho material se puede encontrar en la base de datos de Inventor o de Autodesk como se muestra en la imagen 63.

También es posible ingresar un nuevo material, eso es declarando algunas características físicas para que el programa pueda trabajar con él a la hora de correr la simulación.

Como se dijo desde el inicio, dos configuraciones de balsa se presentan en este trabajo; pero solo hasta la muestra de los resultados se podrán ver las diferencias, ya que, físicamente son similares.

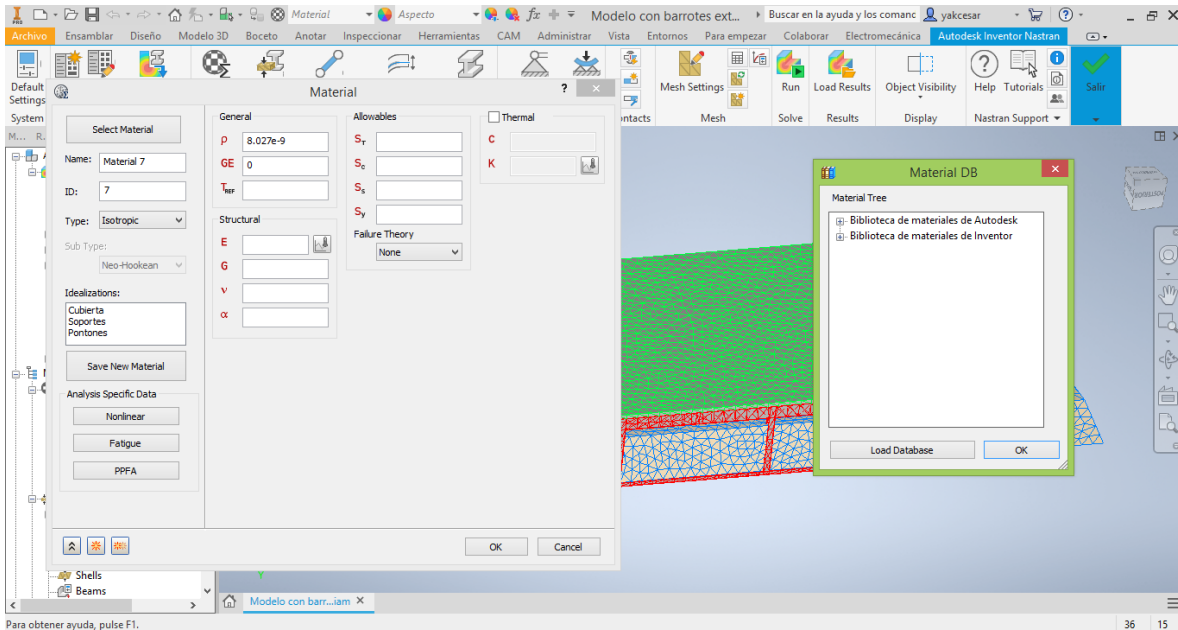


Imagen 63. Entorno de declaración de sólidos y materiales.

Estos sólidos y materiales se deben crear en dos secciones, las cuales Case y Subcase. Si el proceso se hace de manera correcta desde que se genera el primer sólido este se crea en ambas secciones. Este proceso se debe repetir por cada elemento que se tenga, por ser una balsa con cuatro subsistemas solo se repetirá pocas veces el proceso.

Lo siguiente que se realizó fue crear los contactos; para evitar un error al correr la simulación se estableció un contacto del tipo superficie a superficie entre las principales caras que interactuaran en la balsa. Esto no quiere decir que las otras caras no trabajan o tienen alguna interacción en nuestro análisis; es solo por la limitada potencia de cómputo y de licencia que se debe evitar la sobrecarga de contactos y poner solo los principales para nuestro interés.

Una vez desplegada la pantalla de contacto se debe elegir dos entidades, en este caso una se llama maestra y la otra esclava. Se eligió un contacto del tipo de separación y con una característica de penetración simétrica por el tipo de análisis.

Esto solo nos indica que si colocamos un objeto sobre el elemento lo podemos quitar en cualquier momento sin problema. La segunda característica indica que una vez que se genere la malla, los nodos de un elemento no pueden atravesar los nodos correspondientes a la malla del segundo elemento (cosa que en la realidad y de forma física ocurre).

La malla es un elemento difícil de aplicar, ya que este se debe aplicar a cada pieza en el ensamble. En Nastran tenemos dos tipos de orden, uno que es parabólico y otro lineal. Para el análisis de esfuerzos se eligió el orden lineal, por tipo de comportamiento de los materiales; seguido se debe escoger un tamaño de nodo adecuado para todos los componentes de la balsa, recordando que no se debe saturar el sistema con una malla tan densa y tampoco se deben escoger elementos de nodo grandes, ya que, estos no nos darán la suficiente información que necesitamos para un resultado satisfactorio.

Para el tamaño de nodo se eligió uno de 180 mm, puesto que este se puede aplicar como tamaño máximo (grande) en cada elemento. Uno más pequeño es posible de aplicar, pero esto provocaría que la malla sea demasiado densa y el análisis se pare y no funcione.

El color que tiene la malla es únicamente para indicar cada elemento del ensamble, esta puede ser de cualquier color, pero se recomienda alguno que no interfiera con los colores de los materiales escogidos para el análisis. En las siguientes imágenes se podrá apreciar a detalle que cada elemento tiene una malla del tipo lineal junto con el tamaño mencionado con anterioridad.

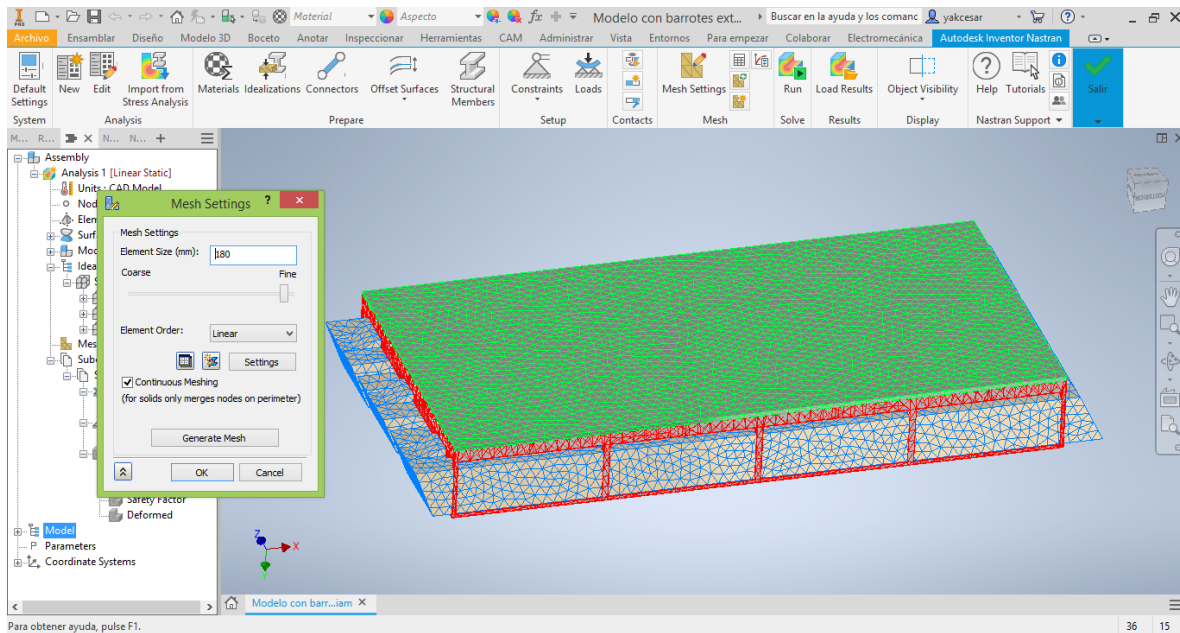


Imagen 64. Tamaño de elemento de nodo.

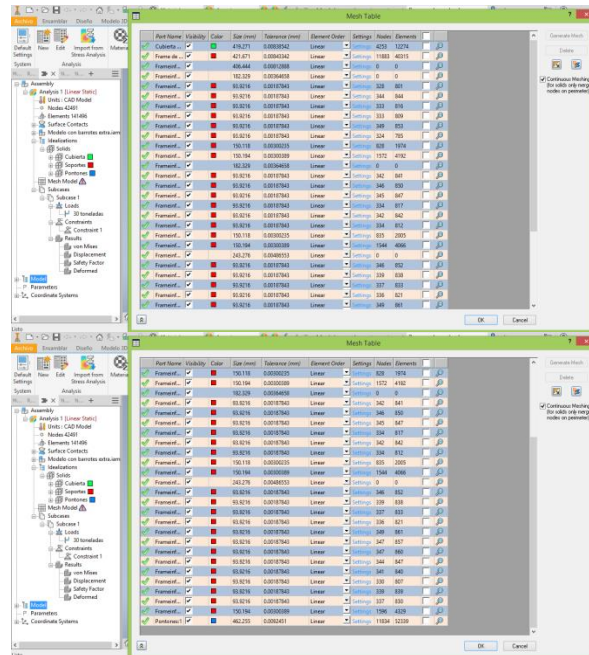


Imagen 65. Tabla con los elementos y su orden de nodo.

Por último, se aplicaron las restricciones y la carga, estas se pueden aplicar al principio o en algún otro punto a la hora de declarar cada característica para el análisis.

Las restricciones se aplicaron en la parte inferior de la balsa, ya que, al ser un análisis de carga y esfuerzos se considera que la balsa estará sobre el piso y no tendría razón para moverse y atravesándolo, de lo contrario el análisis tendría un comportamiento extraño por la carga aplicada y donde se aplicará.

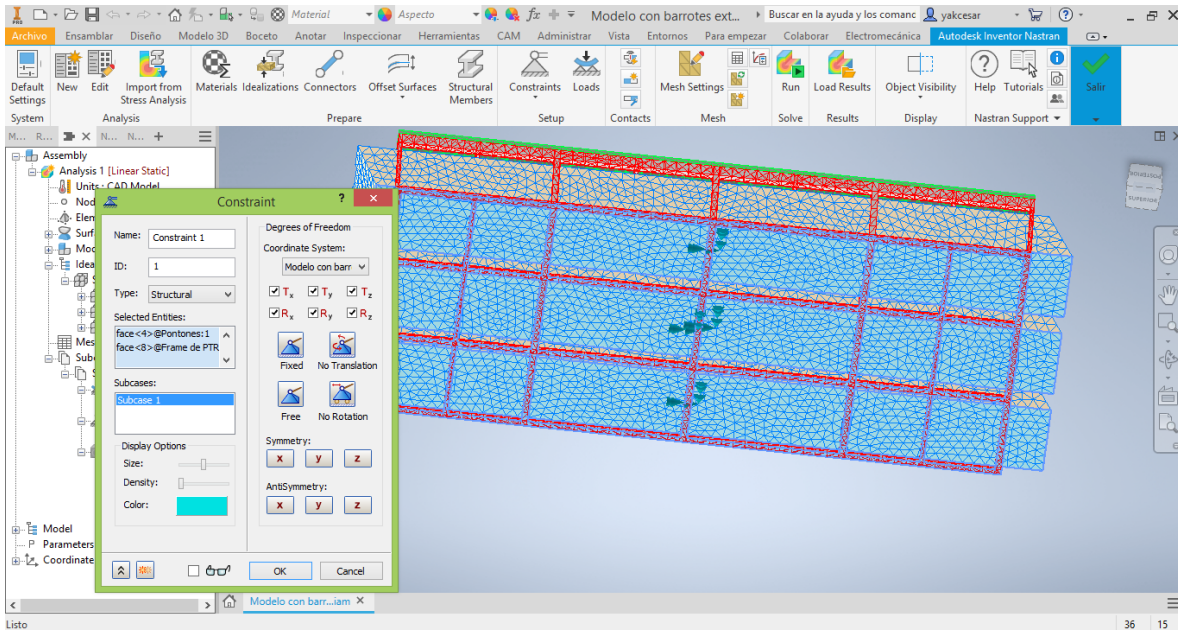


Imagen 66. Restricciones para el análisis.

La carga aplicada será de treinta toneladas; esta no se puede poner tal cual, en Inventor, se debe convertir a newton y después se debe seleccionar un sistema de coordenadas para que esta pueda ir en una u otra dirección, puede ser el que viene por defecto escogido o seleccionar algún otro. El elemento sobre el cual se aplicará (la cubierta) será el que en este caso dicte cual sistema de coordenadas será elegido. El tipo de fuerza elegido actúa lo largo de toda la cara de la cubierta; no se pudo escoger el tipo de “carga distribuida” ya que inventor solicitaba características con las cuales no cuneta esta. En la siguiente imagen se muestra lo mencionado con anterioridad.

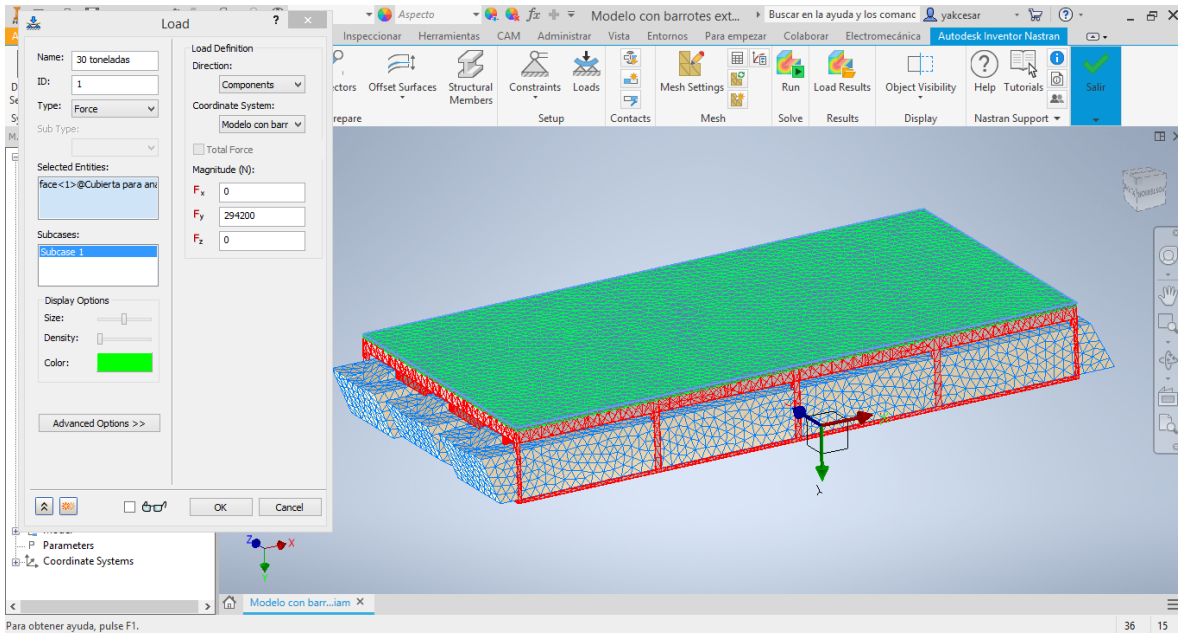


Imagen 67. Aplicación de la carga y selección de sistema coordenado.

Capítulo 8

Resultados

Los usuarios de este software observan que uno de los parámetros que arroja en los resultados es el esfuerzo de Von Mises en el criterio de falla, así también se puede apreciar que nos arroja dos parámetros muy importantes para nuestro diseño, que es el desplazamiento y la deformación de los componentes, estos se pueden apreciar en una escala de colores; así mismo se dividen en categorías de medición, por ejemplo, para el esfuerzo máximo el resultado es en mega pascales.

Se comienzan mostrando los resultados obtenidos en el modelo donde toda la configuración del soporte principal es de cuatro milímetros, y seguido a eso serán mostrados los del soporte principal con la combinación de cuatro y seis milímetros.

También es necesario mencionar que el software inventor “exagera” hasta un cierto punto los resultados. Un desplazamiento o una deformación de tamaño pequeño tiende a mostrarlas como si fueran enormes.

Esto lo hace para mostrar desde donde partimos a la hora de hacer la simulación y hasta donde se puede llegar.

Configuración de 4 mm

Como se ha mencionado, en este diseño de balsa se ha modificado el soporte principal dejando todos los perfiles PTR con un espesor de cuatro milímetros. Aun cuando se tienen largueros principales y secundarios estos son del mismo espesor.

En la siguiente imagen, podemos apreciar el modelo una vez terminado el análisis en el apartado de desplazamiento; este se encuentra en milímetros teniendo un máximo de 0.1199 milímetros como máximo desplazamiento, el cual ocurre en la zona central de la balsa y del soporte principal. Aun cuando se tienen perfiles de soporte.

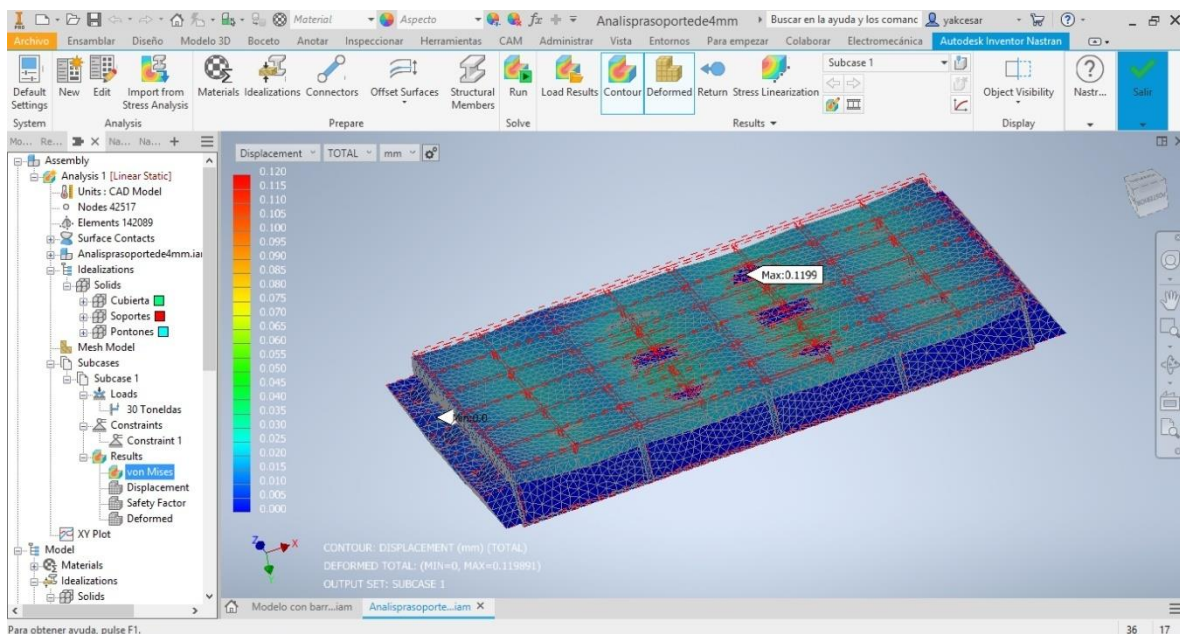


Imagen 68. Desplazamiento máximo.

En el siguiente resultado se muestra el esfuerzo o “strain” máximo y mínimo que se producen en la balsa debido a la carga aplicada, los cuales son $1.062 * 10^{-5} MPa$. Y $4.335 * 10^{-9} MPa$ respectivamente. Gracias a la escala de colores que se aplica en los resultados de Inventor podemos apreciar en qué partes de la balsa estos aparecen. Siendo la parte central de la cubierta y soporte principal, junto a la conexión entre pontones y soporte secundario.

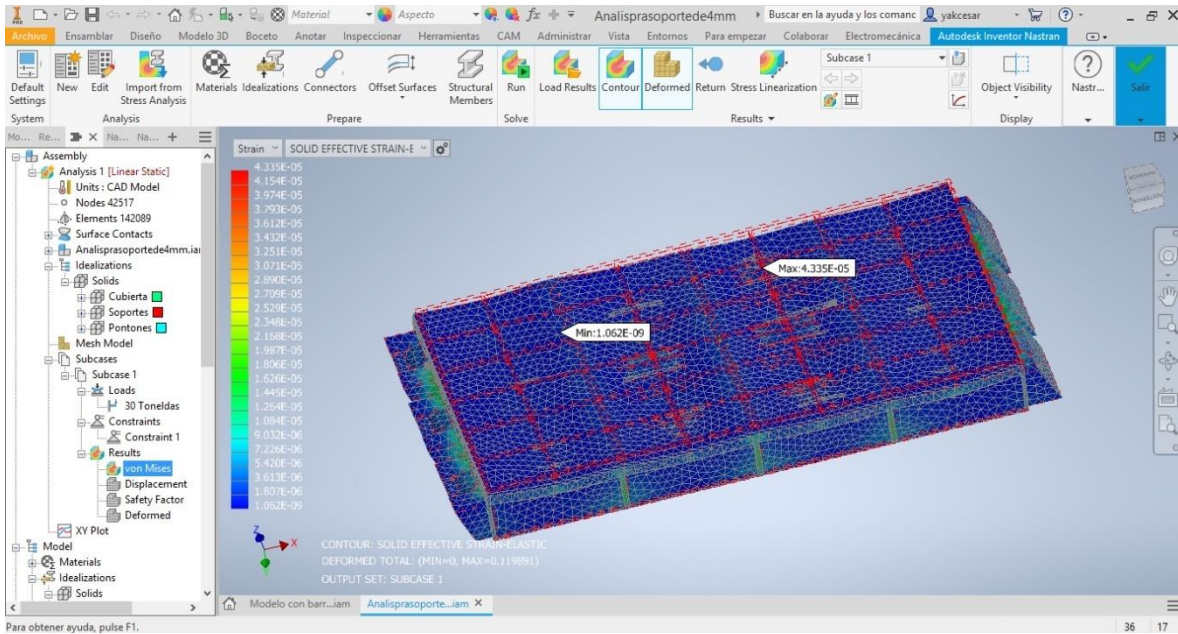


Imagen 69. Esfuerzo máximo y mínimo.

Por último, tenemos la tensión de Von Mises, este parámetro también tiene en sus unidades los MPa. En la imagen se muestran dos parámetros que son importantes para el diseño, los cuales son la tensión mínima y máxima.

Como se ha venido mostrando en los resultados la tensión máxima aparece en el centro de la balsa y el mínimo se ubica hacia la parte de enfrente de la balsa, los valores son 10.1 MPa y 2.225×10^{-4} respectivamente.

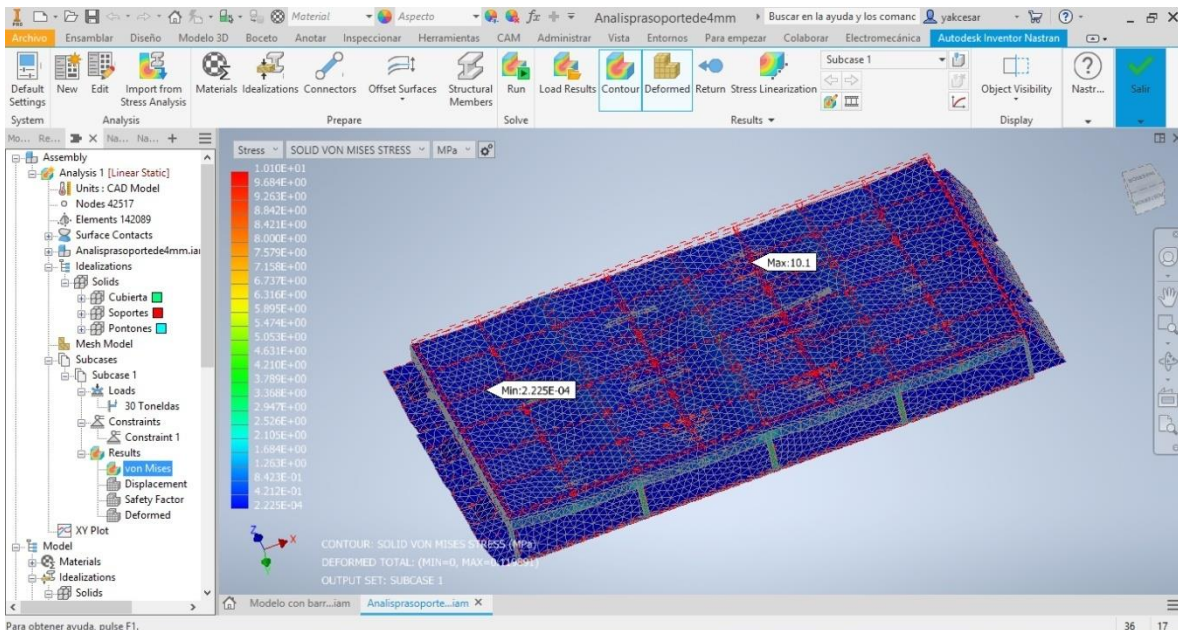


Imagen 70. Tensión de Von Mises.

Configuración de 6 y 4 milímetros

Para este diseño tenemos perfiles PTR con un espesor de 6 milímetros colocados en los largueros horizontales y verticales principales; considerando que será una carga bastante grande. Mientras que, para que el resto de largueros los perfiles tienen un espesor de 4 milímetros, incluidos los barros de soporte. En la siguiente imagen podemos observar como el desplazamiento máximo es de 0.2707 milímetros.

A simple vista este valor pareciera ser más grande y por ende ser un desplazamiento mayor, pero con las iteraciones entre diseños se distingue que si este valor es más grande el desplazamiento (deformación) es más pequeña.

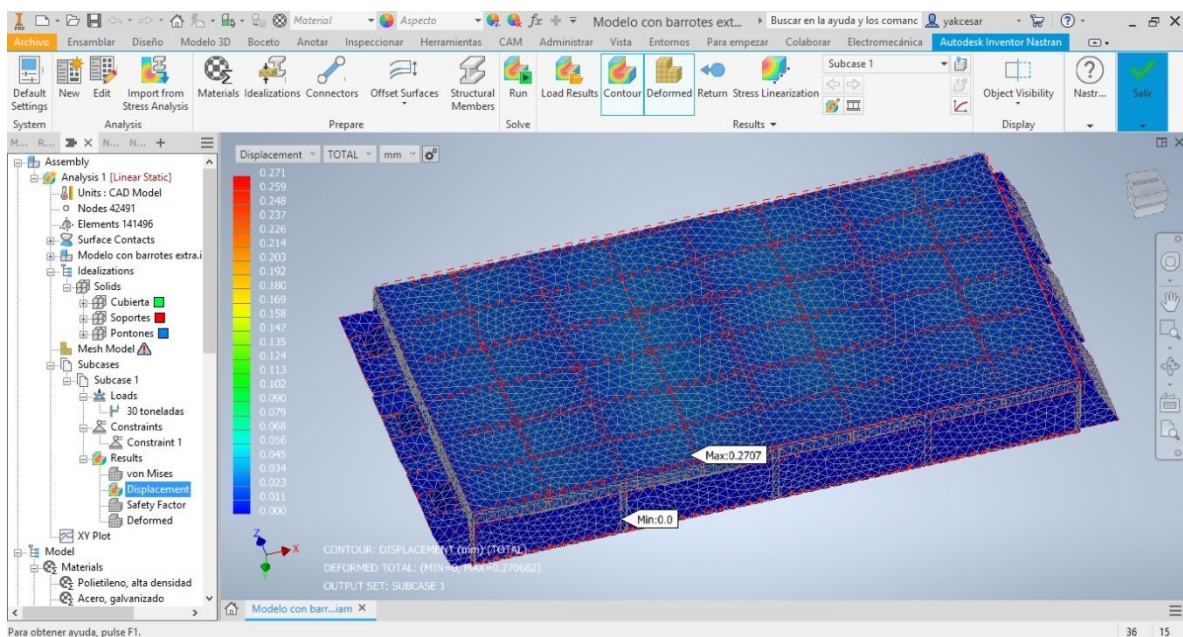


Imagen71. Desplazamiento de la configuración con variación de 6 y 4 mm de espesor.

El esfuerzo que resulta de aplicar la carga de treinta toneladas, disminuye considerablemente en esta configuración; teniendo los valores máximo y mínimo de 3.954×10^{-9} y 3.703×10^{-5} respectivamente. Teniendo el esfuerzo máximo en la cubierta, pero este no tiene una variación de color tan notoria.

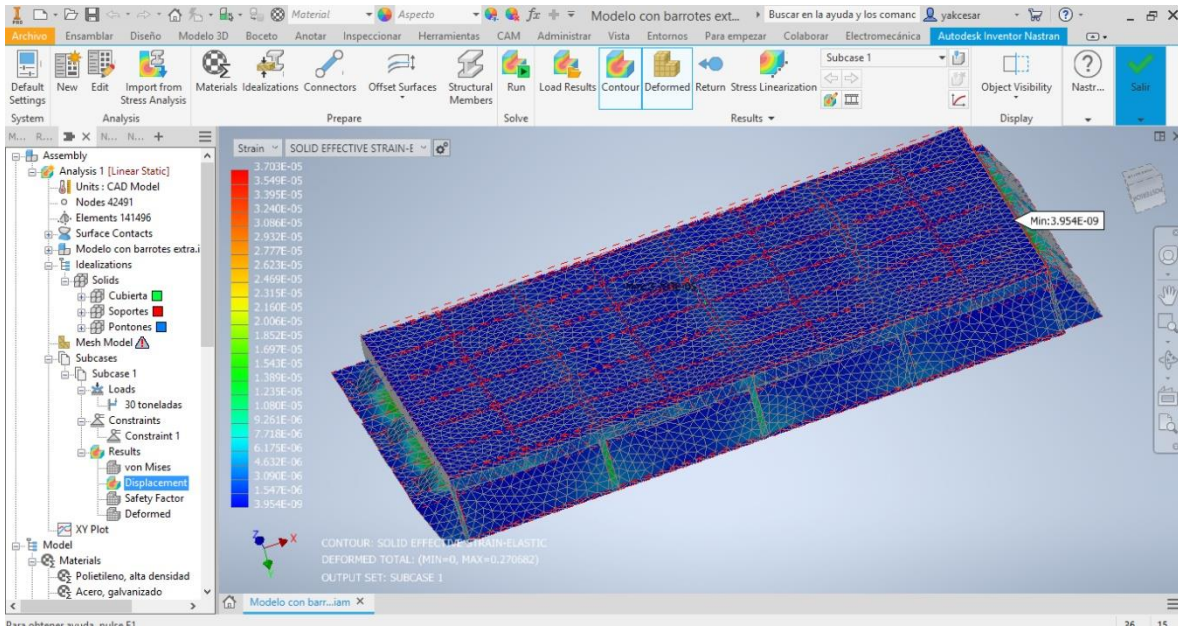


Imagen 72. Esfuerzos mínimo y máximo en la configuración de dos espesores diferentes.

Por último, se tiene la tensión de Von Mises, la cual es más baja que en el diseño de cuatro milímetros. En este resultado tenemos dos tensiones máxima y mínima con los valores de 8.632 MPa y $1.702 \cdot 10^{-4}$ respectivamente. Manteniendo un color casi igual en todos los elementos que conforman la balsa.

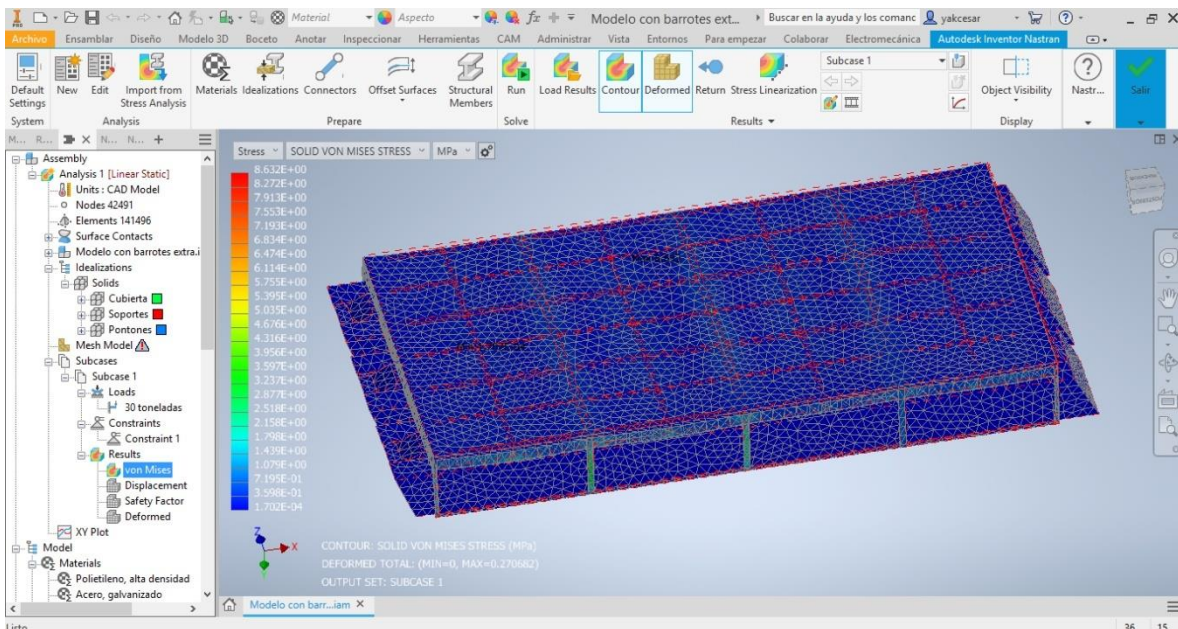


Imagen 73. Tensión de Von Mises en la configuración de dos espesores.

Capítulo 9

Costos de los materiales para la fabricación

Al ser una balsa que estará conformada por perfiles PTR y comerciales en su mayoría, esta se puede cotizar en diferentes comercios y/o empresas que se dedican a vender el acero galvanizado por tonelaje o bajo pedido. A continuación, se mostrarán dos tablas indicando los metros necesarios y cada tipo de perfil que se necesita para el soporte superior, mientras que, para el soporte inferior solo se tendrá una tabla puesto que no tiene modificaciones.

Soporte superior con dos espesores						
Perfil	Medidas milímetros	Espesor milímetros	Metros	Longitud de tramo metros	Precio por tramo	Precio total (MXN)
Perfil C	200x60	6	10	6.1	8,267.64	16, 535.28
PTR	200x100	6	53.5	6	5,217.73	46,959.57
PTR	200x60	4	116.2	6	2,980.93	59,618.6
PTR	100x100	6	20	6	3,231.10	12,924.4
PTR	60x60	4	9.2	6.1	1,500	3,000
					Total.	139,037.85

Soporte superior con un espesor						
Perfil	Medidas milímetros	Espesor milímetros	Metros	Longitud de tramo metros	Precio por tramo	Precio total (MXN)
Perfil C	200x60	4	10	6.1	4,484.94	8,969.88
PTR	200x100	4	53.5	6.1	3,400.59	30,605.31
PTR	200x60	4	116.2	6	2,980.93	59,618.6
PTR	100x100	4	20	6	1,857.00	7,428.00
PTR	60x60	4	9.2	6.1	1,500	3,000
					Total.	109,621.79

Soporte Inferior						
Perfil	Medidas milímetros	Espesor milímetros	Metros	Longitud de tramo metros	Precio por tramo	Precio total (MXN)
Perfil C	140x74	4	8	6	3,806.25	7,612.5
Perfil C	132x74	4	60	12	5,151.74	25,758.7
Perfil W (I)	148x140	4	12	12	16,896.84	16,896.84
					Total.	50,268.04

Rejilla tipo Irving						
Rejilla	Medidas metros	Espesor milímetros	Metros	Longitud de tramo metros	Precio por tramo	Precio total (MXN)
Irving	1x6	30	10	1x6	10,000.00	90,000.00
					Total.	90,000.00

Sistema de flotación					
Pontón	Medidas milímetros	Espesor milímetros	Cantidad	Precio por pontón	Precio total (MXN)
Pontón rompe olas	1222x934	6	3	3,604.12	10,812.36
Pontón trasero	1226.1x934	6	3	3,604.12	10,812.36
Pontón con ranura	1200x934	6	9	4,915.82	44,242.38
Pontón sin ranura	1300x934	6	12	4,915.82	58,989.924
				Total	124,857.024

En las tablas anteriores se observa el precio de los materiales necesarios para construir la balsa, obviamente se debe aumentar un porcentaje a este que deben incluir la mano de obra para la construcción, el sistema de seguridad para juntar los dos soportes y un barandal perimetral que evitara que un tripulante caiga en el agua. Estos precios se muestran a continuación en la siguiente tabla donde se observará el total de cada modelo propuesto.

Modelo de dos espesores		Modelo con espeso único	
Soporte Superior	139,037.85	Soporte Superior	109,621.79
Soporte inferior	50,268.04	Soporte inferior	50,268.04
Cubierta	90,000.00	Cubierta	90,000.00
Pontones	124,857.024	Pontones	124,857.024
Total	404,162.914 MXN	Total	374,746.854 MXN

Este precio únicamente incluye los materiales principales, hay que añadir un adicional que sería la mano de obra de fabricación, los sistemas de seguridad para que se sujeten los dos soportes y un barandal perimetral para la evitar una caída de los tripulantes al agua. Estos entran en un precio de entre 100,000.00 y 150,000.00 pesos mexicanos; porque dependerán del valor de mercado en el momento de adquisición de los materiales.

Todos los precios mencionados fueron cotizados en el primer semestre del año en curso (2023). Se menciona porque estos pueden subir o bajar dependiendo de la fecha de compra.

Capítulo 10

Conclusiones

Desarrollar este tipo de balsa requiere conocimientos en diferentes campos de la ingeniería. No se trata simplemente de colocar materiales y geometrías al azar; es revisar que los componentes por individualidad funcionen y en conjunto logren dar los resultados deseados.

Sin embargo, en este trabajo se muestra que es posible llevar a cabo un proyecto con estas características a algo funcional. Aun cuando se querían aplicar otros materiales para evitar algunos inconvenientes como un gasto adicional debido a la corrosión del agua marina y aligerar el peso de la estructura, así como tener un sistema de flotación que resista la caga y sea accesible para quedar por debajo del límite establecido.

Es fácil mostrar que con un mayor presupuesto este proyecto podría tener materiales de mayor costo y generar una balsa más liviana y resistente a la salinidad del agua de mar. Esto no quiere decir que el proyecto no resistirá, sino que para ayudar a que este resista se optó por un acero galvanizado, el cual en la mayoría de perfiles es más pesado que el aluminio naval. Un material mucho más liviano y que ya está diseñado para resistir el agua de mar.

Lo mencionado con anterioridad resalta en los resultados obtenidos, ya que, al querer tener una estructura más ligera se pierde capacidad de carga; esto se puede comprobar en el diseño que consta de una configuración única de perfiles de 4 mm de espesor.

En ese modelo propuesto se puede apreciar que los perfiles que más carga reciben (aunque sea una carga distribuida) son los que unen la parte superior e inferior del soporte superior. Esta es una de las razones por las que se proponen dos diseños diferentes de los cuales el que mejor se comportó fue el que consta de una combinación de espesores.

Bibliografía

https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/10668/mod_resource/content/2/elasticidad/no-de59.html

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Diccionario. (En línea)
<http://www.rae.es>. (En línea)

<https://estepais.com/ambiente/nuestros-mares-y-costas/>. (En línea)

El agua, Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. Carlos Andres Lopez, Luis Zambrano, Rosario Perez Espejo, Ricardo Sandoval, Raul Pacheco-Vega, Alex Caldera, Rafael Ruiz Ortega, Gonzalo Hatch Kuri, Maria Alicia Guzman, Nicolas Pineda Pablos. FES Transformacion Friedrich Ebert Stiftung

Fisica general, M.C. Beatriz Gpe. Zaragoza Placios, Departamento de Fisica, Universidad de Sonora

MEIZOSO, Jesús Victoria. *Principios de ingeniería naval*. Madrid: Euro castellano, 1997.

Antonio Mandelli. *Elementos de Arquitectura Naval*. Librería editorial Alsina Buenos Aires 1986.

Capítulo 2. Ferrocemento: definición, historia y aplicaciones. Tesis de doctorado Daniel Bedoya Ruiz Universidad politécnica de Cataluña

FAY, James A. *Mecánica de fluidos*. Mexico : s.n., 1996.

INEGI. Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades.

<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-alta-densidad> (En línea)

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-alta-densidad>. (En línea)

<https://www.envaselia.com/blog/tereftalato-de-polietileno-id12.htm> (En línea)

<https://www.3ds.com/es/make/guide/process/blow-molding> (En línea)

<https://www.pinturasmirobriga.com/blog/tipos-de-perfiles-metalicos/> (En línea)

<http://www.kaivalsac.com/productos/plataformas-de-trabajos-y-obras-civiles/>

Referencias

1. Carlos Andres Lopez, Luis Zambrano, Rosario Perez Espejo, Ricardo Sandoval, Raul Pacheco-Vega, Alex Caldera, Rafael Ruiz Ortega, Gonzalo Hatch Kuri, Maria Alicia Guzman, Nicolas Pineda Pablos. FES Transformacion Friedrich Ebert StiftuPng. El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. 6-7.
2. Carlos Andres Lopez, Luis Zambrano, Rosario Perez Espejo, Ricardo Sandoval, Raul Pacheco-Vega, Alex Caldera, Rafael Ruiz Ortega, Gonzalo Hatch Kuri, Maria Alicia Guzman, Nicolas Pineda Pablos. FES Transformacion Friedrich Ebert Stiftung. El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. 8.
3. Carlos Andres Lopez, Luis Zambrano, Rosario Perez Espejo, Ricardo Sandoval, Raul Pacheco-Vega, Alex Caldera, Rafael Ruiz Ortega, Gonzalo Hatch Kuri, Maria Alicia Guzman, Nicolas Pineda Pablos. FES Transformacion Friedrich Ebert Stiftung. El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. 8.
4. Molina, S. y Walker, A. (2010). DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE ADECUADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA RURAL UNIFAMILIAR PARA POBLACIÓN DE BAJOS RECURSOS PARA SOBRELLEVAR LAS INUNDACIONES ALUVIALES FUTURAS EN LAS ZONAS CRÍTICAS DE LA DEPRESIÓN MOMPOSINA DEL BAJO MAGDALENA. Bogota: Universidad EAFIT. Tesis de licenciatura en ingeniería de diseño de producto. 21.
5. UNAM, Principio de Arquímedes y principio de Pascal de https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/2630/mod_resource/content/4/Principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes.pdf#:~:text=El%20principio%20de%20Arqu%C3%ADmedes%20es,volumen%20del%20fluido%20que%20desaloja%C2%BB.
6. _ _ _ _ : (2021). Resumen del tema de flotación y estabilidad del curso de mecánica de fluidos. Universidad Nacional de Piura. 2-3.
7. James, A. (1996) Mecánica de fluidos. México. FAY
8. Boris, L. (2011). Equilibrio de los cuerpos flotantes. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
9. Aula Náutica. (2013). Seguridad en la mar- Escola Port, de <https://aulanautica.org/unit/seguridad-en-la-mar-py/>

10. Boris, L. (2011). Período de balance. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

11. González, H. (2011). Esfuerzos a los cuales el buque está sujeto de <http://arquitecturabuque.blogspot.com/2011/06/esfuerzos-los-cuales-el-buque-esta.html>.

12. Pendiente

13. MONAPART. (2015). Casas flotantes de <http://magazine.monapart.com/es/magazine/hogar/casas-flotantes>

14. Pendiente

15. Barreto, L. (2011). Floating Homes de <https://www.floatinghomes.de/> (En Línea)

16. Dassault Systemes (2022-2023). Moldeo por soplado. Descubra qué es el proceso de fabricación del moldeo por soplado y su uso en la industria de <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/blow-molding>