



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ME56B - Taller de Diseño Mecánico

---

# Diseño de un Catamarán a Vela

---

## Informe Final Parte 1

**Grupo:** 2

**Alumnos:**

David Elgueta - Sebastián Franjola

José Luis Fuenzalida - Canek Jackson

Javier Larios - Rodrigo Madrid

**Profesor:** Sebastián Tolvett C.

**Semestre Otoño 2006**

# Índice

---

<b>1. Introducción (J. Larios)</b>	<b>1</b>
1.1. Presentación . . . . .	1
1.2. Motivación . . . . .	1
<b>2. Antecedentes Generales</b>	<b>2</b>
2.1. Flotación y Estabilidad de Cuerpos Sumergidos en Líquidos (J. L. Fuenzalida) . . . . .	2
2.2. Cálculo del Metacentro (J. L. Fuenzalida) . . . . .	6
2.3. Estructura (R. Madrid) . . . . .	7
2.3.1. Coeficientes de Medidas . . . . .	7
2.3.2. Cálculos Intermedios . . . . .	9
2.3.3. Correcciones y Penalizaciones . . . . .	9
2.3.4. Rating (o tiempo dividido por un factor) . . . . .	9
2.3.5. Medidas . . . . .	10
2.4. Aerodinámica (C. Jackson) . . . . .	11
2.5. Fluidodinámica (C. Jackson) . . . . .	14
2.6. Normas y Reglas de Construcción (D. Elgueta) . . . . .	15
2.6.1. Principales características de la clase NACRA A2 . . . . .	16
2.6.2. Materiales de Construcción . . . . .	16
2.6.3. Clase-A Internacional . . . . .	17
<b>3. Parámetros de Diseño (J. Larios)</b>	<b>19</b>
<b>4. Solución Propuesta</b>	<b>20</b>
4.1. Especificaciones . . . . .	21
4.1.1. Base (J. Larios) . . . . .	21
4.1.2. Mecanismo de Dirección (D.Elgueta) . . . . .	21
4.1.3. Vela (S. Franjola) . . . . .	24
4.1.4. Trampolín (S. Franjola) . . . . .	25

4.1.5. Botavara (S. Franjola) . . . . .	26
4.1.6. Mástil (J. L. Fuenzalida) . . . . .	26
<b>5. Memoria de Cálculo</b>	<b>31</b>
5.1. Mástil (R. Madrid, C. Jackson) . . . . .	31
5.2. Travesaños (R. Madrid) . . . . .	34
5.3. Cascos (C. Jackson) . . . . .	36
5.4. Estabilidad (R. Madrid) . . . . .	37
5.5. Cálculo de la Sujeción del Timón al Casco (D. Elgueta) . . . . .	40
<b>6. Bibliografía</b>	<b>42</b>
6.1. Libros y Documentación . . . . .	42
6.2. Internet . . . . .	42
<b>A. Planos del Catamarán a Vela</b>	<b>43</b>

---

## Capítulo 1

### Introducción (J. Larios)

---

#### 1.1. Presentación

Este informe presenta la solución al problema de diseñar un catamarán a vela, tema propuesto por el grupo de trabajo al Sr. Sebastián Tolvett C., profesor del ramo *Taller de Diseño* (ME56B).

#### 1.2. Motivación

Un catamarán es un tipo de embarcación que consiste en dos cascos unidos por un marco. Pueden ser propulsados a vela o motor. La palabra catamarán viene del idioma *tamil*, en el cual la palabra *kattumaram* significa *troncos unidos*. El catamarán es, originalmente, un invento de los *paravas*, una comunidad de pescadores en la costa sur de Tamilnadu, India. Los catamaranes fueron usados por la antigua dinastía Tamil Chola desde el siglo quinto (después de Cristo) para mover sus tropas para conquistar regiones del Sudeste Asiático como Birmania, Indonesia y Malasia.

La evolución de los catamaranes les otorga, hoy en día, la cualidad de ser embarcaciones capaces de desarrollar grandes velocidades, destinadas a entretenimiento, cruceros o movilización para fines de trabajo. Sobrellevando el escepticismo de algunos marineros acostumbrados a diseños más tradicionales, los catamaranes compiten en velocidad, estabilidad y confort con muchos otros tipos de embarcación.

---

## Capítulo 2

### Antecedentes Generales

---

#### 2.1. Flotación y Estabilidad de Cuerpos Sumergidos en Líquidos (J. L. Fuenzalida)

Un cuerpo inmerso en un líquido reemplazará parte del mismo, generando una acción que es igual a la parte de sólido sumergida. Para que exista equilibrio, la porción del fluido reemplazante del sólido, es necesario que la acción del resto del fluido sobre ella  $E$  deba ser exactamente igual y opuesta al peso del fluido reemplazante, es decir:

$$\vec{E} = - \vec{P} \quad (2.1)$$

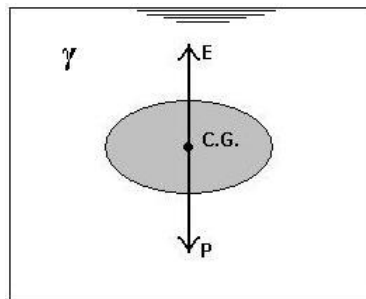


Figura 2.1: Sólido sumergido en un líquido con  $\gamma$ .

Si el volumen del cuerpo sumergido es  $V_{SUM}$ , en un fluido de peso específico  $\gamma$ , el empuje estará dado por la magnitud

$$E = \gamma \bullet V_{SUM} \quad (2.2)$$

Luego, para cuerpos parcialmente sumergidos en un líquido y que esten en equilibrio, deben cumplir dos condiciones:

- El peso del cuerpo  $P$  debe ser igual al empuje  $E$ .
- El punto de aplicación del empuje debe estar en la misma vertical que la fuerza peso.

La fuerza peso esta aplicada en el centro de gravedad del cuerpo ( $CG$ ) y el empuje en el baricentro del volumen sumergido. Aplicando este análisis en términos *náuticos*, la parte del cuerpo sumergido se llama *carena* y su baricentro *centro de carena* ( $C$ ).

Como el centro de carena no es un punto fijo, pues cambia de acuerdo a la forma de la carena, una pequeña rotación del cuerpo modifica la posición de  $C$ .

Si observamos la figura 2.2, la intersección del cuerpo con el plano de la superficie libre, recibe el nombre de "flotación". Sea  $LF$  esta línea de flotación,  $G$  el centro de gravedad y  $C$  el centro de carena. Si se rota el cuerpo en un ángulo pequeño  $\Delta\alpha$  con respecto a la horizontal, el centro de carena cambia de la posición  $C$  a la  $C'$ . La vertical que pasa por  $C'$  coincide con la dirección del empuje del cuerpo en esta posición. Esta vertical corta a la antigua vertical que pasa por  $C$  en un punto  $M$  llamado "Metacentro".

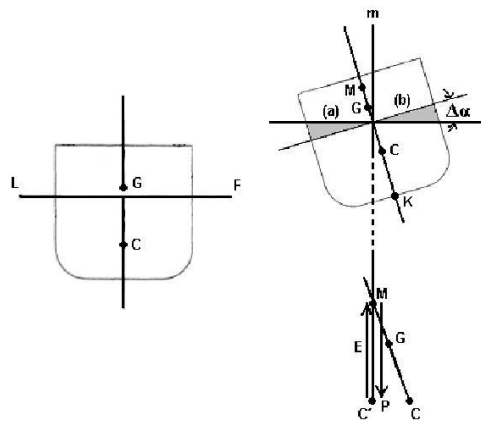


Figura 2.2: Cuerpo flotante y rotado en  $\Delta\alpha$

Las fuerzas actuantes son el peso  $P$  del cuerpo y el empuje  $E$ , que al girar el cuerpo en un ángulo  $\Delta\alpha$ , actúa en  $C'$  o sea que pasa por el punto  $M$ . Si el punto  $M$  esta ubicado sobre el centro de gravedad  $G$ , el momento de las fuerzas actuantes " $m$ " será tal que tenderá a volver el cuerpo a su posición primitiva, es decir, el equilibrio es estable y el momento estabilizante. Por el contrario, si  $M$  esta ubicado entre  $C$  y  $G$ , el momento de la pareja de fuerzas  $E$  y  $P$  tenderá a girar aún más el cuerpo en el mismo sentido; es decir, el equilibrio es inestable y el cuerpo se da vuelta a otra posición.

La condición para que el equilibrio sea estable es:

$$\overline{CM} \geq \overline{CG} \quad (2.3)$$

El momento estabilizante vale:

$$m = P \cdot \overline{GM} \cdot \text{sen} \Delta\alpha \quad (2.4)$$

Al girar el cuerpo un ángulo pequeño  $\Delta\alpha$ , se sumerge una cuña del cuerpo designada por (a) en la figura 2.2 y emerge otra cuña (b). los volúmenes de ambas cuñas deben ser iguales, para mantener la condición  $P = E$ .

Al calcular la altura metacentrica  $CM$ , en vez de girar el cuerpo se debe cambiar la línea de flotación, que pasa de la posición  $LF$  a la  $L'F'$  girada en un ángulo  $\Delta\alpha$  con respecto a la inicial.

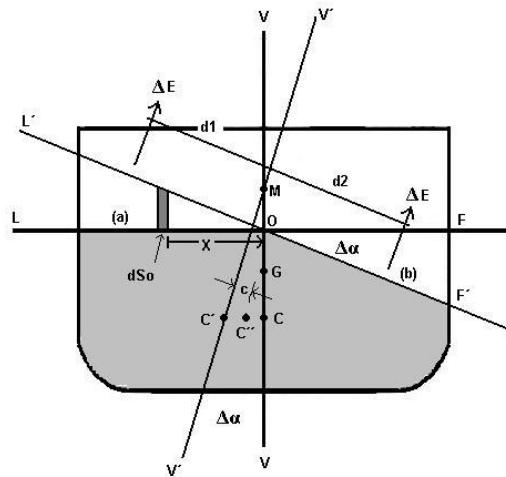


Figura 2.3: Línea de Flotación rotada en  $\Delta\alpha$

El centro de carena cambia de  $C$  a  $C'$ , llamaremos  $E'$  al empuje sobre el volumen achurado de la figura 2.3. Como el peso del cuerpo no cambia con el giro, el empuje  $E$  debe mantenerse en ambas situaciones, razón por la cual los volúmenes de ambas cuñas deben ser iguales.

Con el fin de determinar la posición de  $C'$ , llamaremos  $E'$  al empuje sobre el volumen achurado de la figura 2.3, que permanece sumergido en ambos casos. este empuje está aplicado en el baricentro  $C''$  de dicho volumen y a una distancia  $c$  de la vertical  $V'V'$  que pasa por el metacentro  $M$ .

El empuje  $E$  del cuerpo, correspondiente a su posición primitiva, debe ser igual a la suma vectorial

de  $E'$  (en  $C''$ ) más  $\Delta E$  de la cuña (b). Se puede verificar entonces, que tomando momentos con respecto al eje  $V'V'$ :

$$E \cdot \overline{CM} \cdot \Delta\alpha = E' \cdot c + \Delta E \cdot d_1 \quad (2.5)$$

El empuje  $E$  del cuerpo, correspondiente a su posición inclinada en el ángulo pequeño  $\Delta\alpha$  será la resultante de  $E'$  (en  $C''$ ) y del empuje  $\Delta E$  sobre la cuña (a). Luego, tomando momentos con respecto al eje  $V'V'$  se verifica:

$$E' \cdot c = \Delta E \cdot d_1 \quad (2.6)$$

Reemplazando y utilizando

$$d = d_1 + d_2$$

se cumple:

$$\overline{CM} \cdot \Delta\alpha \cdot E = \Delta E \cdot d \quad (2.7)$$

El término  $\Delta E \cdot d$  es el momento de una pareja de fuerzas  $\Delta E$  separadas por la distancia  $x$  de 0. Integrando directamente, tomando momentos con respecto al eje perpendicular a  $V-V$ , que se proyecta en 0, se tiene:

$$\Delta E \cdot d = \int_{S_O} \gamma \cdot x \cdot tg\Delta\alpha \cdot x dS_O = \gamma \Delta\alpha \int_{S_O} x^2 dS_O \quad (2.8)$$

$$S_O = \text{área de flotación.}$$

La integral de la ecuación anterior representa el momento de inercia de la superficie de flotación  $S_O$  con respecto a un eje normal a la figura que pasa por 0. Sea  $I_0$  dicho momento de inercia y de acuerdo a las relaciones anteriores.

$$\Delta E \cdot d = \gamma \cdot \Delta\alpha I_0$$

$$\overline{CM} = \gamma \cdot \frac{I_0}{E} \quad (2.9)$$

Como el empuje vale  $E = \gamma \cdot V_O$ , siendo  $V_O$  el volumen de la carena, la ecuación anterior también se puede escribir simplemente:



$$\overline{CM} = \frac{I_0}{V_O} \quad (2.10)$$

Si volvemos a la condición de estabilidad, expresada anteriormente se obtiene finalmente la ecuación:

$$\overline{CG} \leq \frac{I_0}{V_O} \quad (2.11)$$

## 2.2. Cálculo del Metacentro (J. L. Fuenzalida)

Como se observa en la figura 2.2 la distancia entre la quilla o base del cuerpo y el metacentro es,

$$\overline{KM} = \overline{KC} + \overline{CM}$$

es decir, si consideramos un cuerpo de geometría simple como el de la figura 2.4 de ancho B y largo L, con una línea de flotación de altura T. Si la Sección esta uniformemente cubierta por el fluido en su largo, el volumen cubierto esta dado por:

$$V_O = B \cdot L \cdot T$$

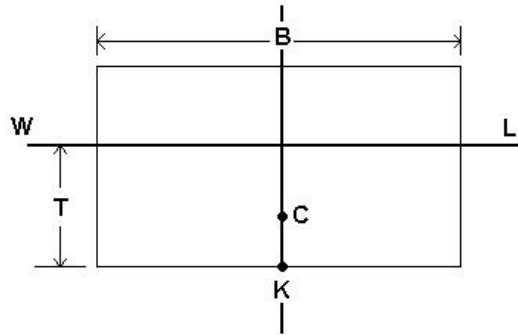


Figura 2.4: Línea de Flotación rotada en  $\Delta\alpha$

El momento de inercia  $I_O$  del área de carena será

$$I_O = \frac{L \cdot B^3}{12}$$

por lo tanto:

$$\overline{CM} = \frac{L \cdot B^3}{12 \cdot B \cdot L \cdot T} \quad (2.12)$$

## 2.3. Estructura (R. Madrid)

Lo que dispone la ISAF (International Sailing Federation) para la construcción de pequeños catamaranes son reglamentaciones que buscan establecer una base comparativa para los distintos multicascos. Al cumplir con los requerimientos que se expresan a continuación, un catamaran podrá obtener un certificado de Rating.

Las reglas son en base a datos medibles. Entonces

- WS - Peso mínimo de navegación del catamarán.
- CM - Máxima área de la vela mayor.
- WC - Peso de la tripulación. (Sólo para el cálculo).
- VLM - Máxima longitud de proyección del grátil (arista de una vela que queda junto al palo o stay) de la mayor.
- CJ - Máxima área del foque (Vela triangular que se larga entre el trinquete y la proa).
- VLJ - Máxima longitud de proyección del grátil del foque.
- CSPI - Máximo área del spinnaker (vela triangular con una gran capacidad de hinchado que se larga a proa).
- CB - Máximo profundidad de la orza (pieza suplementaria plana que se acopla en la parte baja central del casco. Sirve para dar más estabilidad, y contener la deriva, generalmente en los buques de vela. Puede ser fija y móvil).
- VLB - Máximo calado de la orza debajo de cascós.
- AL - Eslora máxima autorizada.
- WL - Eslora máxima de flotación.

### 2.3.1. Coeficientes de Medidas

Coeficiente de Eslora (L)

$$L = WL + 0,3 \cdot (AL - WL)$$

Coeficiente de Peso (W)

$$W = WS + WC$$

Coeficiente de Área Vela (A)

$$A = M + J$$

Coeficiente de Área Mayor (M)

$$M = CM \cdot Me$$

Donde J es el coeficiente de Foque, en el caso que el catamarán sea sin spinnaker, entonces.

$$J = CJ \cdot JE$$

En el caso que el catamarán cuente con spinnaker, queda.

$$J = (CJ \cdot JE) + 0,1 \cdot (CSPI - CJ)$$

Luego ME es la eficiencia de la vela mayor, JE es la eficiencia del Foque.

Eficiencia de la Vela (SE, %)

$$SE = 40,1 + 18,31 \cdot X - 2,016 \cdot X^2 + 0,07472 \cdot X^3$$

Donde

$$X = \frac{pvom}{maav}$$

- pvom: Proyección vertical de la Orza en el mastil
- maav: Máxima área autorizada para vela

También

$$XM = \frac{VLM^2}{CM}$$

y

$$XJ = \frac{VLJ^2}{CJ}$$

### 2.3.2. Cálculos Intermedios

$$ZM^2 = \frac{\sqrt{W \cdot L}}{A}$$

$$DLR = \frac{W}{L^3}$$

$$XC4 = 1,0 + (0,0061012 \cdot ZM^2 \cdot 1,038881 + (0,4371713 \cdot DLR))$$

$$XC = -0,0414213 - (2,554547 \cdot \frac{ZM^2}{L}) + (0,0013205 \cdot ZM^2 \cdot L^2)$$

$$\frac{VT}{VB} = \sqrt{\left[ \frac{-XC2 + \sqrt{(XC2^2 - 4 \cdot XC4 \cdot XC)}}{2 \cdot XC4} \right]}$$

### 2.3.3. Correcciones y Penalizaciones

Corrección Orza

$$BC = 0,6 \cdot (-0,2735XB^2 + 2,4948 \cdot XB - 2,2213) + 2$$

En la que 0.6 es un coeficiente y 2 una constante.

$$XB = \frac{VLB^2}{CB}$$

### 2.3.4. Rating (o tiempo dividido por un factor)

$$R = 0,8 \cdot \frac{VT}{VB} \cdot \left(1 - \frac{BC + CMP}{100}\right)$$

### 2.3.5. Medidas

Las medidas de longitud se tomarán en metros con tres decimales, las áreas serán medidas en metros cuadrados con dos decimales, los peso se medirán en kilos.

**WC:** Peso de la tripulación se tomará como de 75 kilogramos constantes para cada uno.

**WS:** El peso del catamarán listo para navegar, excluyendo el equipo personal.

**AL:** Eslora máxima del casco es la distancia horizontal entre la parte más adelantado al punto más atrás del casco (accesorios normales del timón serán excluidos).

**WL:** Eslora máxima de flotación se medirá con el catamarán con su peso WS más el peso de la tripulación WC. El reparto lateral y longitudinal de la tripulación se hará de tal manera que los dos espejos de popa rocen la superficie del agua.

**CM:** Área máxima autorizada de la vela mayor. El área de la vela mayor máxima permitida por las reglas de clase o, en la falta, certificado por el constructor. El CM incluye el mástil, si el mástil gira. (ISAF reglas de medición e instrucciones).

**VLM:** Máxima proyección vertical del grátil de la Vela mayor. Será medida a lo largo del lado posterior del mástil, entre las dos marcas de limite. Cuando se esté navegado, el puño de driza de la vela mayor no será elevado más alto que el inferior de la marca de límite superior, y el puño de amura no será bajado más abajo que la parte superior de la marca de límite inferior. Para clases o tipos que no tienen ninguna exigencia en sus reglas de clase, para llevar una marca de límite inferior, la VLM será medida por la relinga, y midiéndola desde el punto de medición del puño de driza a un punto sobre el lado posterior del mástil que es perpendicular a la parte más baja de la vela.

**CJ:** Área máxima autorizada del foque. Área máxima del Foque permitida por las reglas de clase o, su falta, certificado del constructor.

**VLJ:** Proyección Máxima Vertical del Grátil del Foque Será medido a lo largo del lado delantero del mástil.

**CSPI:** Área Máxima Autorizada del Spinnaker. Se permiten spinnakers asimétricos.

Anchura en la Mitad, esto es la distancia entre los puntos medios de la baluma será mayor o igual al 75 % de la longitud del pujámen.

$$CSPI = SF \cdot \frac{SL1 + SL2}{4} + (SMG - \frac{SF}{2}) \cdot \frac{2}{3} (\frac{SL1 + SL2}{2})$$

Donde SF es el pujamen; SL1 el Grátil; SL2=Baluma; SMG es la anchura en la mitad. Tangón del Spinnaker. La parte más exterior del tangón o percha del spinnaker no saldrá más allá de 0.80 m. del más exterior de los cascos en el nivel de cubierta.

**CB:** Máxima área autorizada de la orza. Área útil de la orza debajo del casco.

**VLB:** Máximo calado de la orza Es la distancia mayor, medida verticalmente entre la línea de quilla y el punto más bajo en el borde de la orza.

## 2.4. Aerodinámica (C. Jackson)

El diseño de un catamarán contiene una fuerte componente en lo que respecta a consideraciones aerodinámicas. De hecho, el análisis estructural de éste se encuentra acoplado con el aerodinámico ya que son el viento y las fuerzas de arrastre asociadas, los que finalmente traducen su acción en cargas sobre el mástil, por ejemplo. En lo que respecta a la aerodinámica propiamente tal, el elemento crítico objeto de estudio corresponde a la vela.

El problema del ingeniero de diseño consiste en estudiar las deformaciones a la que está sometida la vela, para obtener una solución en la que se equilibren el máximo aprovechamiento del viento (como fuerza propulsora) y el mínimo esfuerzo (debido a las deformaciones del material). De esta manera, existe una relación directa entre la deformación de la vela y la *performance* aerodinámica. La figura 2.5 muestra la variación del campo de presiones alrededor de una vela, para una altura dada.

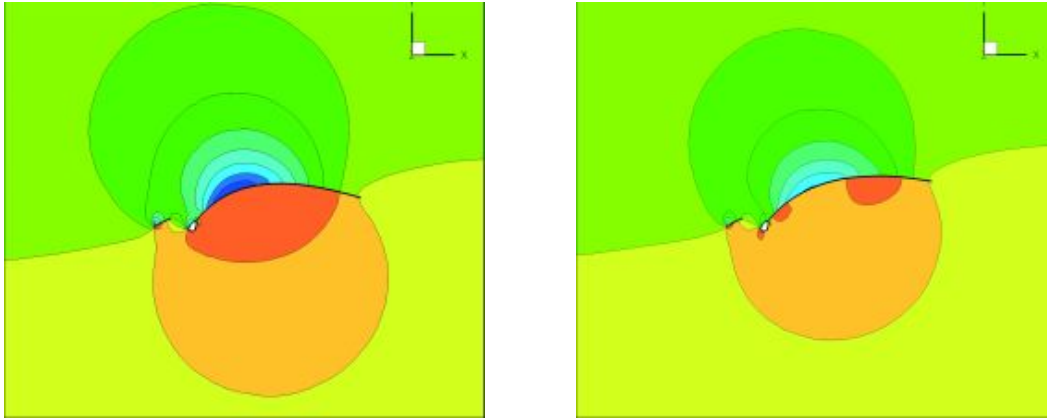


Figura 2.5: Distribución de presiones al inicio(izq) y al final(der) del proceso aeroelástico. Las líneas negras representan la sección transversal de la vela. Fuente: <http://www.nautica.it/>

Como se aprecia en la figura, existe una reducción de los valores de presión luego de que la vela es deformada. Ello se debe a que parte de la energía contenida en el viento se transforma en energía de deformación, quedando así un remanente de presión.

Abordar analíticamente el problema de diseño aerodinámico, en estos casos, resulta intratable. Por ello, el diseño debe ser asistido por programas de simulación numérica CFD. Dado que el proceso de simulación puede conllevar a errores numéricos, en esta sección presentamos algunos valores referenciales para validar los resultados que obtengamos a posteriori. Los valores están referidos a un catamarán tipo Tornado de clase Olímpica, operando con un viento de  $11[\text{m/s}]$  incidiendo a  $22^\circ$  respecto el plano de la membrana. El campo de deformaciones, para un espesor de vela de  $0.4[\text{mm}]$  se muestra en la siguiente figura:

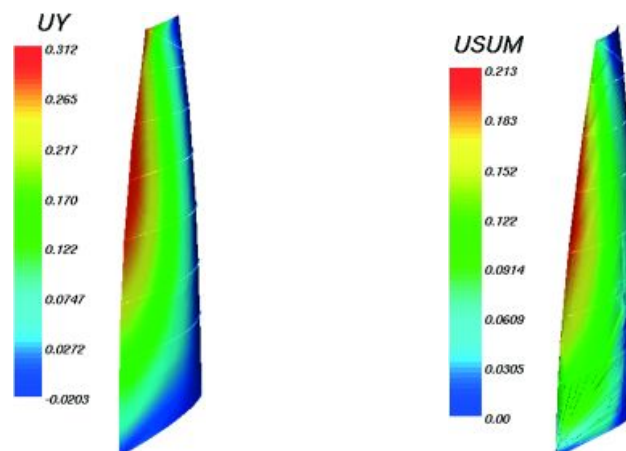


Figura 2.6: Distribución de deformaciones. Modelo para un material isótropo con módulo de Young  $3000[\text{MPa}]$  y coeficiente de Poisson 0.4. Izq: vector ortogonal. Der: vector total. Fuente: <http://www.nautica.it/>

Los valores anteriores corresponden a un material isótropo de módulo de Young 3000[MPa] y coeficiente de Poisson 0.4. En general, El supuesto de material isótropo para modelos (de membranas) usados en simulación, representan las características reales en el caso del estudio de velas; ya que éstas están constituidas por listones dispuestos en direcciones no preferenciales. A continuación se presenta un tabla que relaciona el espesor de vela con la máxima deformación observada, para un material con las características físicas mencionadas anteriormente y bajo las mismas condiciones de viento.

Tabla 2.1: Máximo desplazamiento, observado en la vela, como función de su espesor. Fuente:

<http://www.nautica.it/superyacht/524/tecnica/mainsail.htm>

Espesor, [mm]	Máximo desplazamiento, [m]
1,0	0,196
0,7	0,236
0,4	0,312
0,3	0,364

Una consideración importante en lo que refiere al diseño aeronáutico, es la que tiene que ver con la identificación de alguna(s) configuración(es) en la que las solicitaciones aplicadas sean máximas. En este sentido, un parámetro importante corresponde al ángulo de ataque con el cual el viento interactúa con la vela. La figura 2.7 muestra los modos de interacción característicos:

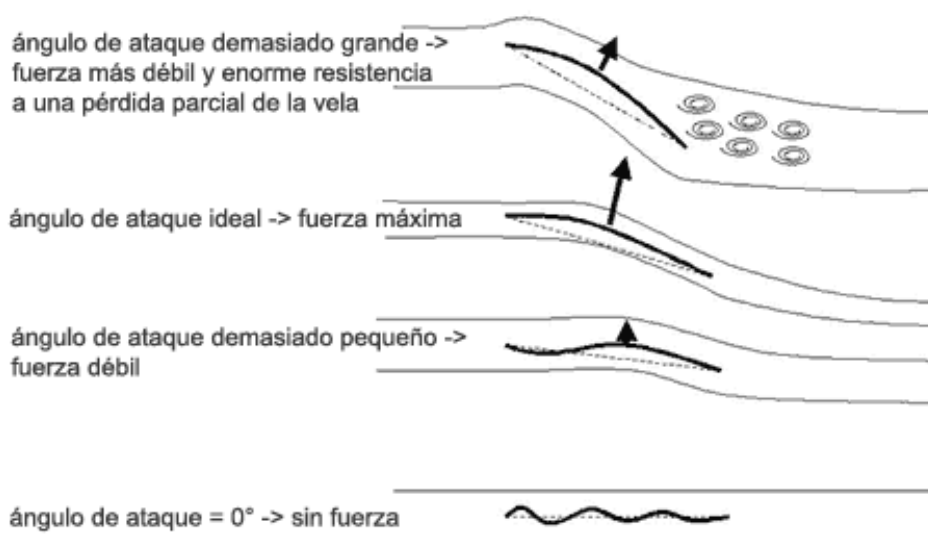


Figura 2.7: Modos de interacción viento-vela durante el proceso aeroelástico. Fuente:

<http://www.seed.slb.com/es/scictr/watch/sailing/index.htm>

Generalmente, dado los modos de la figura anterior, se usa 45° como ángulo de fuerza máxima.



## 2.5. Fluidodinámica (C. Jackson)

Paralelamente al problema aerodinámico presente en el diseño de catamaranes, se encuentra el problema fluidodinámico asociado a la parte náutica. En este aspecto, el elemento crítico lo constituyen los cascos. De igual manera que en el caso aerodinámico, las variables fluidodinámicas también interaccionan con la estructura del catamarán definiendo así las cargas sobre el casco. La figura 2.8 muestra una geometría básica para el casco de un catamarán, útil para validar resultados numéricos de simulación, y una geometría optimizada a partir de la primera.



Figura 2.8: Geometría básica de casco (en negro) y geometría optimizada según la minimización de la resistencia fluida (en rojo). Fuente: <http://www.pcm.unifi.it/Lavorisalerno/>

El catamarán está constituido por dos cascos simétricos, dispuestos de tal manera que sus superficies forman un canal convergente-divergente, para el agua que fluye a través del catamarán. Con esta forma y disposición de los cascos, el catamarán cede energía al fluido que se transporta con una velocidad creciente en la línea media, de la sección convergente del canal (cerca de los cascos la velocidad decrece como consecuencia de los puntos de estancación generados al paso del catamarán). Dicha energía es, en parte, recuperada en la sección divergente.

El problema de diseño, en el aspecto náutico, consiste en minimizar la resistencia con que el agua se opone al movimiento de los cascos (y por lo tanto al del catamarán). Dicha resistencia es resultado de dos efectos: la fricción y el oleaje generado.

A continuación se muestra la variación de las variables fluidodinámicas (velocidad en la dirección de desplazamiento y presión) a lo largo de los cascos, así como la magnitud para las dos componentes de resistencia. Los resultados corresponden a un modelo de casco probado con las siguientes características dimensionales y de operación: largo máximo, 2.4[m]; ancho máximo, 0.17[m], distancia mínima entre cascos, 0.21[m]; inmersión, 0.115[m].

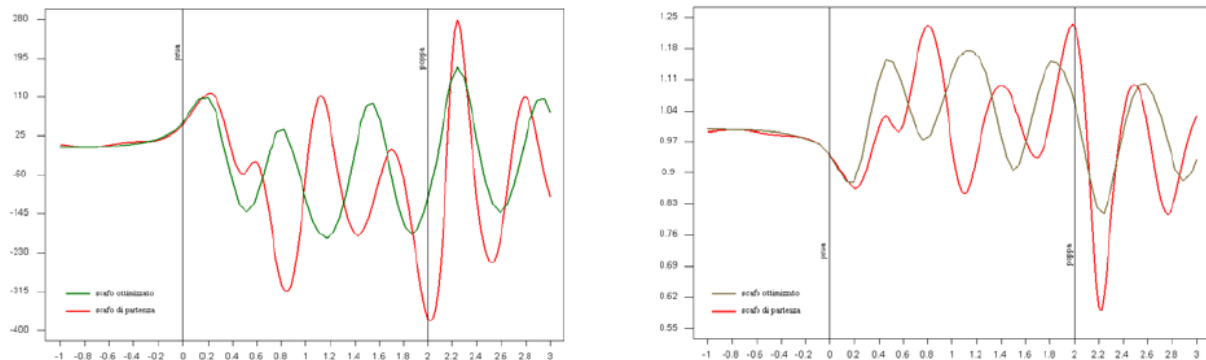


Figura 2.9: Variación de presión(izq) y velocidad(der). Las líneas rojas representan la geometría básica y las verdes la optimizada. Fuente: <http://www.pcm.unifi.it/Lavorisalerno/>

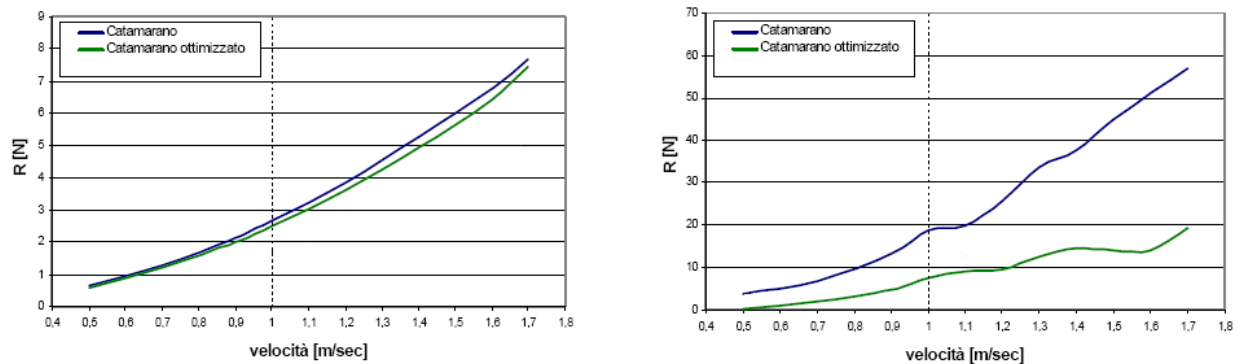


Figura 2.10: Resistencia debido a fricción(izq) y oleaje(der). La curva azul corresponde a la geometría básica y la verde a la optimizada. Fuente: <http://www.pcm.unifi.it/Lavorisalerno/>

## 2.6. Normas y Reglas de Construcción (D. Elgueta)

Existe una gran cantidad de reglas en el diseño y construcción de un catamarán. Estas dependen del tipo de propulsión de la embarcación, el número de pasajeros, y la finalidad del diseño; es decir si va a ser utilizado con el propósito de competencia en algún torneo, viajes comerciales, o simplemente como recreación. En el primer caso, las normas o reglas en el diseño, dependen exclusivamente del tipo de competencia a la cual se está inscribiendo, es decir el organizador de dicho torneo tiene sus propias reglas acerca del diseño del bote y de la navegación misma. En el segundo caso como son embarcaciones echas en serie o lucrativas, la normalización es más rigurosa, siendo éstas usualmente normas internacionales ISO 9001. En el tercer caso, no existe ninguna normalización ya que son naves para recreación solamente, aunque pueden ser homologadas si cumplen alguna de las reglas antes mencionadas.

En nuestro caso, el diseño del catamarán se ajustará a este último caso, aunque en el fondo,

basaremos nuestro diseño en la clase NACRA A2, la cual corresponde a una clase de competición.

### 2.6.1. Principales características de la clase NACRA A2

- LOA 5.49m
- BEAM 2.3m
- DRAFT 0' 6"
- DISPLACEMENT 75kg
- SAIL AREA 14 sq. m.



Figura 2.11: Catamarán clase A2. Fuente: <http://nacraa2.com>

### 2.6.2. Materiales de Construcción

Los materiales de construcción para el catamarán son directamente seleccionados por las normas a las cuales nos estamos sometiendo.

La estructura principal son los cascos, los cuales son fabricados de fibra de carbono al igual que el mástil. Los materiales son los siguientes:

- Cascos ligeros, en fibra de carbono
- Vigas, en fibra de carbono
- Mástil, en fibra de carbono
- Timón y barras de apoyo, en fibras de carbono
- Daggerboards de fibra de vidrio reforzado con poliéster

### 2.6.3. Clase-A Internacional

La clase A-Catamaran, a menudo abreviada como A-cat, es el desarrollo de clases para la navegación de catamaranes en competencias. La clase fue fundada durante los años 60 y fue parte del IRYU, ahora conocida como ISAF (International Sailing Federation), la cual divide los catamaranes deportivos en 4 grupos distintos. Estos eran A,B y D, las cuales eran gobernadas por un pequeño grupo de reglas las cuales cada categoría debía cumplir. Al principio eran solo éstas:

- Máximo largo del casco
- Máximo ancho promedio
- Máxima área de navegación

Todos los botes que eran diseñados y construidos navegaban en un solo grupo junto con todos los otros botes con el fin de cruzar la línea de meta.

La A-cat es la única que realmente sobrevivió de estas 4 clases, y con el tiempo sus reglas se fueron expandiendo para prevenir que los costos de los botes aumenten demasiado y para asegurar una total imparcialidad en la carrera.

Por el momento, las reglas principales de la clase A-cat son:

- Mínimo peso promedio del bote: 75 kg
- Máximo largo promedio del bote: 5.49 m
- Máximo ancho promedio del bote: 2.30 m
- Máxima área de navegación incluido el mástil: 13.94 m<sup>2</sup>
- No son permitidos los hydro-foils

El diseño de la A-cat con el tiempo convergió a una sola vela, usando un mástil ligero de carbono de alrededor 9 m de largo llevando una lona de pentex o kevlar. Los cascos y las vigas son usualmente echas de fibra de carbono. El ligero peso y las técnicas de navegación hacen que estos botes sean muy rápidos. A menudo eran imbatibles en las carreras y sólo con la introducción de spinnaker asimétricos en otros catamaranes, han perdido un poco de liderazgo.

En las décadas desde su fundación, las clases A-cat han recolectado un gran prestigio internacional y ahora se encuentra en una gran cantidad de países alrededor del mundo. Su campeonato en el mundo a menudo atrae a más de 100 botes. Esta, además, es una clase que aún contiene una gran cantidad de constructores caseros, aunque su número ha disminuido cada año debido a las habilidades requeridas para construir un bote competitivo, sin embargo casi todos los participantes configuran y arreglan sus propios botes.

---

## Capítulo 3

### Parámetros de Diseño (J. Larios)

---

Los parámetros a considerar en el diseño del catamarán a vela, jerarquizados de acuerdo a su importancia, son los siguientes:

#### 1. Seguridad

La embarcación debe ser segura para el usuario en cuanto a flotabilidad, estabilidad y resistencia de los materiales.

#### 2. Confiabilidad

Los elementos del catamarán deben resistir desgaste por abrasión y corrosión, tanto con el ambiente como intermetales. Además, los cascos deben ser diseñados para resistir aplicación de cargas cíclicas dadas por el choque de las corrientes de agua con los mismos. Para esto es de gran importancia que éstos tengan un diseño fluidodinámico.

#### 3. Factibilidad

La tecnología debe ser factible de fabricar a nivel del mercado nacional, es decir, los materiales y procesos de manufactura se deben encontrar disponibles en Chile, bajo producción interna o importación directa desde los países fabricantes.

#### 4. Mantenimiento

La máquina debe asegurar un sencillo manejo de las piezas desmontables. Además, debe ser posible una fácil limpieza de los cascos y de los elementos principales.

#### 5. Operabilidad

La embarcación debe poder ser operada por una sola persona, la cual deberá tener control tanto de la dirección como de la escora del catamarán.

---

## Capítulo 4

### Solución Propuesta

---

El avance en solución al problema de diseño planteado en este proyecto se muestra en la Fig. 4.1.

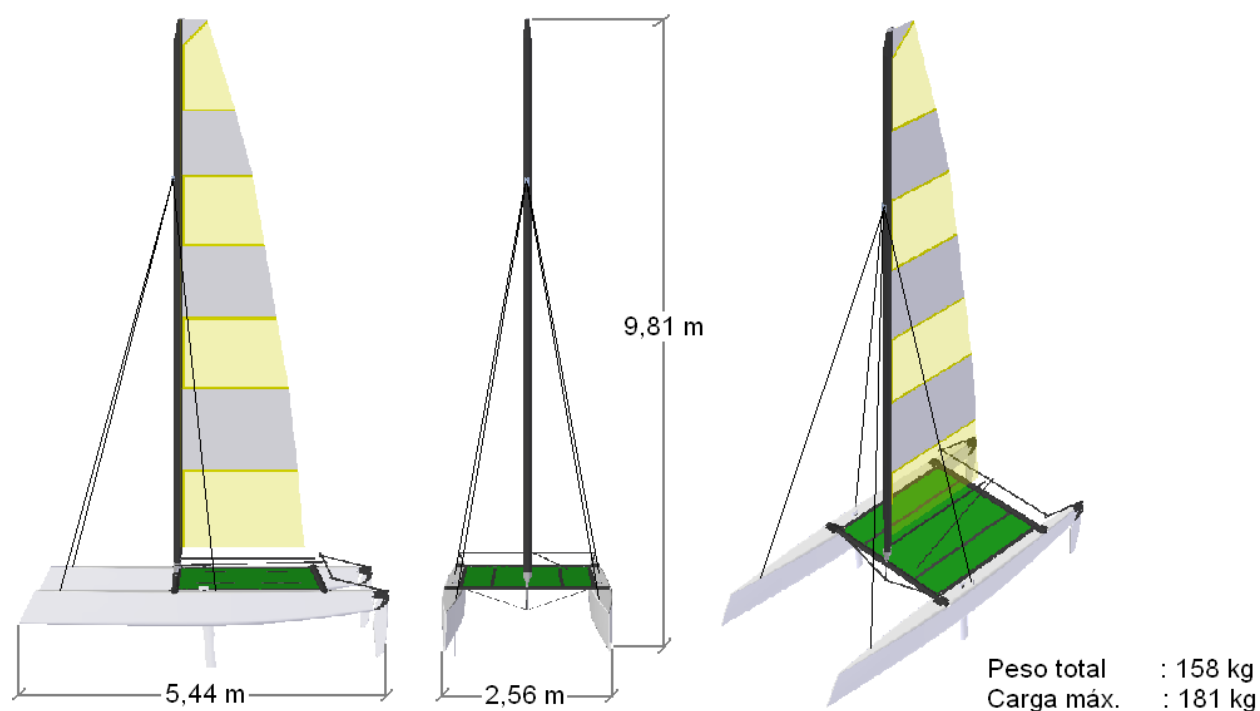


Figura 4.1: Esquema de la solución propuesta.

Este catamarán es de tipo deportivo. Posee cascos con un desarrollo fluidodinámico que minimiza el arrastre del agua, favoreciendo así el avance de la embarcación y facilitando la obtención de altas velocidades de navegación. Permite navegación individual o con acompañante. Puede ser utilizado en cruceros, para fines deportivos o para simple entretenimiento de los usuarios.

## 4.1. Especificaciones

### 4.1.1. Base (J. Larios)

El conjunto base está formado por dos cascos fabricados en fibra de vidrio de 5 [mm] de espesor, los cuales son fijados por dos barras cruzadas de aluminio 6063 - T6 con perfil elíptico de  $55 \times 35 \times 5$  [mm]. El sistema de anclaje de las barras a los cascos se hace mediante las piezas que se muestran en la Fig. 4.2. Los pernos no van directamente sobre la fibra de vidrio sino en un cilindro con hilo interno que posee soldadas dos golillas en sus extremos, las cuales actúan como base e impiden que al apretar los pernos se dañen los cascos.

Cada casco cuenta con una pala de corte que puede ser regulada para adaptarse a las condiciones de operación. El sistema de regulación consiste en un pasador desmontable que traba la pala, la cual posee distintas perforaciones.

El conjunto base cuenta además con un sistema soporte para el mástil. Este sistema está formado por un empalme y tensores para aumentar la rigidez de la barra cruzada delantera. Además, el mástil es sostenido mediante cables que se ubican en los tensores sobre los cascos.

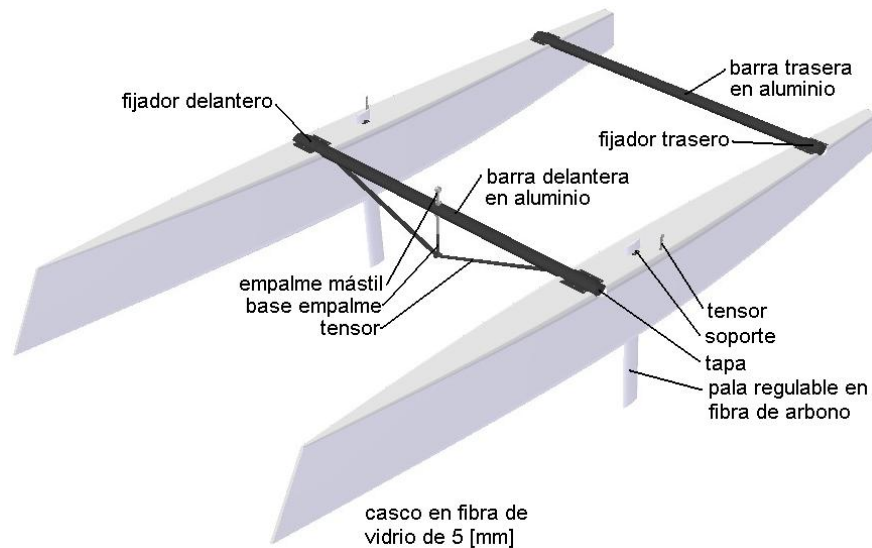


Figura 4.2: Vista del conjunto base del catamarán.

### 4.1.2. Mecanismo de Dirección (D.Elgueta)

El mecanismo de dirección corresponde a un subconjunto del catamarán y está constituido por las paletas, el sistema de elevación de las paletas y las barras de dirección.





Figura 4.3: Esquema general del timón.

### Mecanismo de Elevación de las Paletas

El mecanismo de elevación de las paletas es un mecanismo bastante complicado, por lo que se optó por comprarlo<sup>1</sup>. Se escogió un mecanismo acorde a las características del modelo y éste funciona con un movimiento vertical de una barra, la cual al subir y bajar produce el movimiento de sube y baja de las paletas. Este mecanismo viene predeterminado con sus materiales y dimensiones; sin embargo, se hizo un cálculo para verificar que las uniones entre el casco y el timón fueran las indicadas.

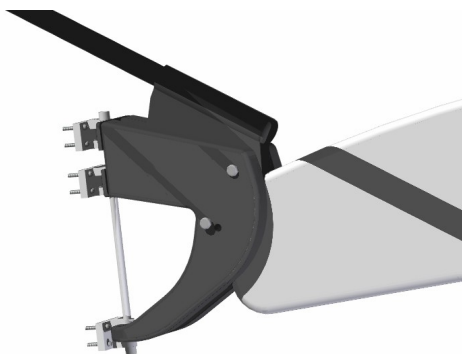


Figura 4.4: Detalle del movimiento de sube y baja de las paletas.

<sup>1</sup>El modelo es Blade 1 Profile NACA y posee un peso de 2,5 [kg]. El sitio web del fabricante es [www.dotan.com](http://www.dotan.com)

### Movilidad Rotacional de las Paletas

Para lograr este movimiento y permitir que el catamarán pueda girar, se utilizó uno de los sistemas más simples que se ve en este tipo de catamarán. Este sistema consiste en un pasador, el cual afirma las paletas, o mejor dicho al mecanismo de las paletas, y además se afirma al casco mediante tres soportes los cuales tienen 4 tornillos M5 de 30 [mm] de largo de acero inoxidable. Para afirmar éste mecanismo a los cascos, se utilizó otra pieza para no hacer un hilo en el casco, ya que es de fibra de carbono, con lo cual se evita una fractura del material.

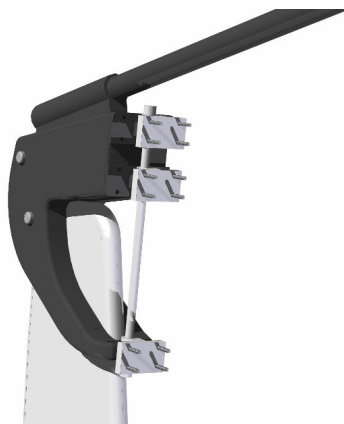


Figura 4.5: Detalle Fijación al Casco y Pasador

### Movilidad Rotacional de las Barras de Dirección

El movimiento de las barras de dirección, al igual que en el caso anterior, es muy simple. Al extremo de cada barra se encuentran unos orificios por los cuales se mete un pasador, luego se unen ambos extremos de las barras, más bien una arriba de otra, y luego, gracias a que los pasadores poseen unos orificios, se remacha, impidiendo la separación de las barras. Esto permite que las barras roten alrededor del pasador y se muevan horizontalmente, provocando el movimiento de las paletas. Por otro lado, existe una barra transversal que une las dos paletas. Esta barra posee en su centro un orificio en donde se ajusta una pieza mediante un pasador, esto permite la rotación de la barra que va directamente al navegante, además esta última pieza nombrada posee un orificio horizontal, lo que permite el movimiento vertical de la barra que maneja todo el mecanismo, la cual es movida horizontalmente por el navegante para producir el giro de las paletas y verticalmente para subir y bajar las paletas.

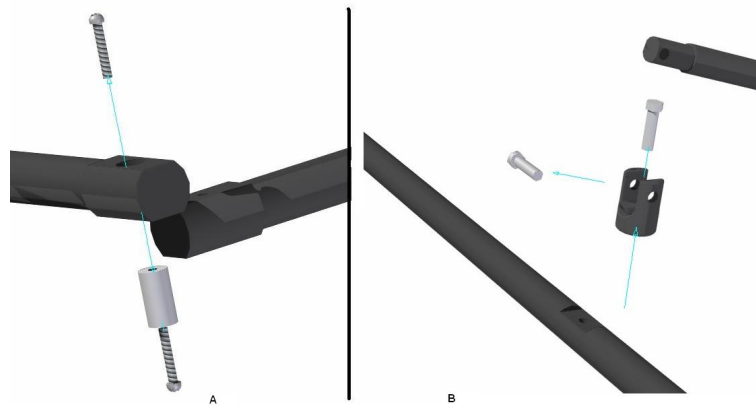


Figura 4.6: A: Detalle de la rotación de las barras; B: detalle de la rotación de la barra del navegante.

#### 4.1.3. Vela (S. Franjola)

La vela del catamarán es de un tejido de kevlar, un polímero de alta resistencia, y mide aproximadamente 8,16 [m] de alto. El ancho varía a lo largo de la vela, teniendo un valor máximo de 1,9 [m] en la base y un mínimo de 0,4 [m] en la punta.

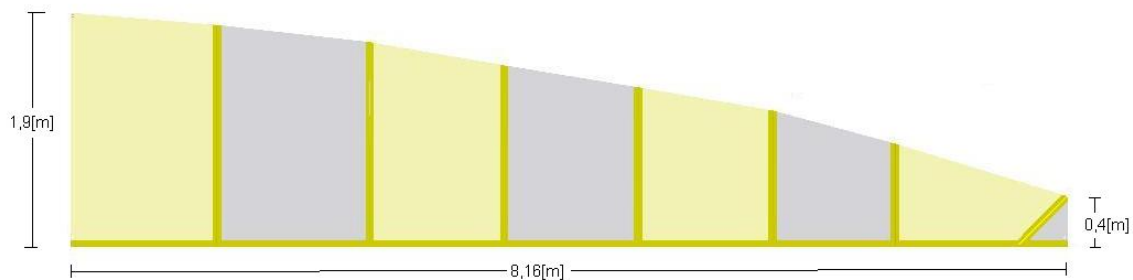


Figura 4.7: Vista lateral de la vela.

La vela se inserta en el mástil por medio de una relinga de 2 [cm] de diámetro. El propósito de la relinga es que no exista ninguna separación entre el mástil y la vela, ya que el viento que se introduce por este lugar es desaprovechado. A lo largo de toda la estructura posee canales donde se introducen los cables, que son barras flexibles perpendiculares al mástil cuya función es darle mayor rigidez a la estructura de la vela. Los canales tienen un diámetro de 1[cm].

El espesor de la vela es de 1 [mm] en su mayoría, pero los canales y la relinga están hechos por una

doble capa de material, por esta razón, miden 2 [mm]. La unión con la botavara es simple, y se logra gracias a unas perforaciones reforzadas por anillos metálicos cerca de la base. Por el agujero se pasa una cuerda que se ata a la botavara. Otro anillo existe en la punta y su función es ayudar a subir la vela por el sacado del mástil.

#### 4.1.4. Trampolín (S. Franjola)

El trampolín es la malla que une los dos cascos y donde las personas pueden ir sentadas. La malla está hecha de polipropileno cuyos bordes son de cuero. El montaje del trampolín es análogo al de la vela. Se une al travesaño delantero del catamarán por una relinga que se inserta en un sacado de esta barra, la parte trasera del trampolín se amarra a la barra trasera usando una cuerda.

La cuerda se ata a una barra de carbono que va inserta en un canal del borde de cuero. Además se fijan los bordes del trampolín atando cuerdas (que pasa por canales laterales del borde de cuero) a la

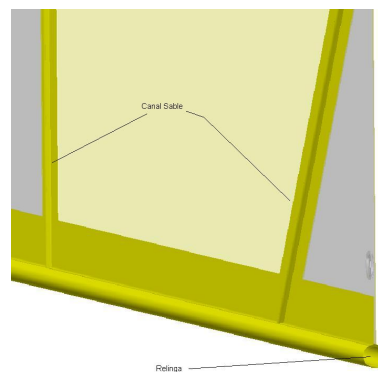


Figura 4.8: Vista de la relinga y canal con un sable.

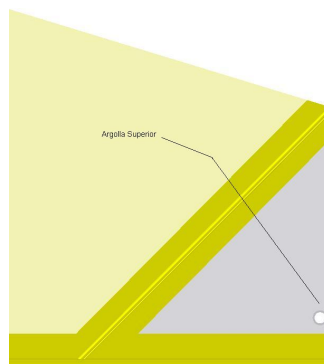


Figura 4.9: Vista de la perforación de la base y de la punta.

barra de transversales y a unos anillos. Es importante que el trampolín quede muy tirante.

#### 4.1.5. Botavara (S. Franjola)

La botavara es la barra perpendicular al mástil que afirma la base de la vela. Posee un mecanismo que le permite girar en  $180^\circ$  aproximadamente, para acomodar la vela dependiendo de la dirección del viento. El mecanismo es simple, un pasador une la botavara y la placa con forma de C. Este mecanismo es posible de usar por el bajo peso de la botavara hecha de fibra de carbono.

#### 4.1.6. Mástil (J. L. Fuenzalida)

El mástil fue diseñado en base a las especificaciones técnicas del modelo *FXone* de la empresa *Hobie Cat Europe*. Este tiene un largo de 8,46 [mts] fabricado en fibra de carbono. Para su fácil transporte, el

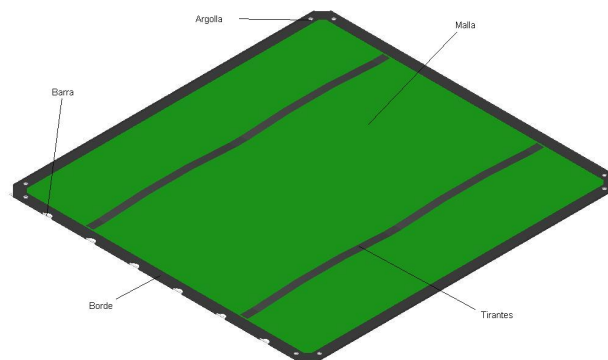


Figura 4.10: Vista isométrica del trampolín.

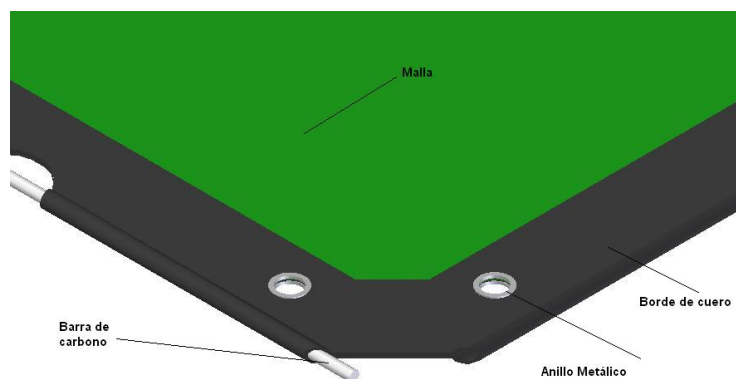


Figura 4.11: Vista de los anillos y la barra.

mástil esta dividido en dos secciones. La superior tiene un sistema soporte polea que permite mediante una cuerda subir la vela hasta el tope, y una base de cables de sujección del mástil, como se ve en la figura 4.13 y 4.14 . Este último cumple la función de llevar los cables que posicionarán el cuerpo del mástil en vertical. La sección baja tiene una base que permite posicionar el cuerpo del mástil en la barra cruzada delantera de los cascos del catamarán como puede verse en la figura 4.13. La base, además tiene un set de tres poleas que cumplen la función de llevar los cables que sujetarán la base de la vela al mástil, impidiendo que esta se separe y se mueva libre.

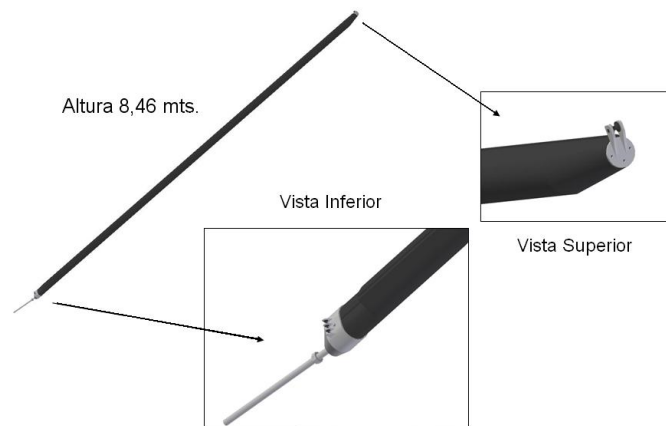


Figura 4.13: Esquema del mástil: vistas superior e inferior.

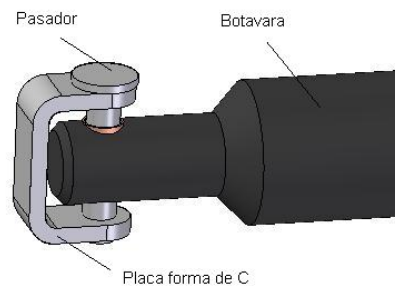


Figura 4.12: Mecanismo de giro con la placa en forma de C y el pasador.

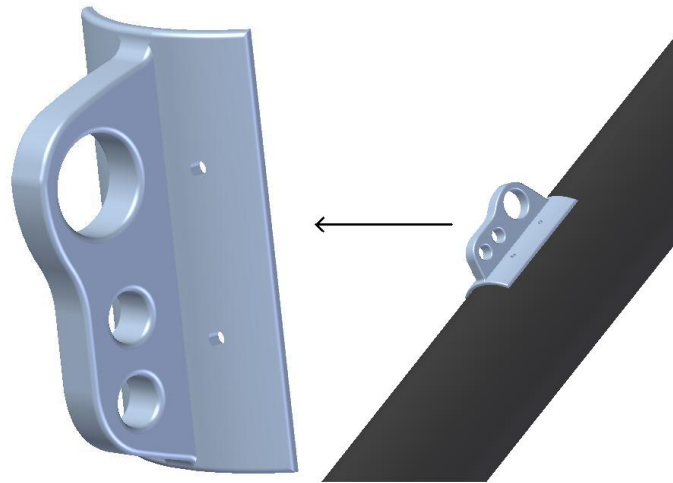


Figura 4.14: Soporte cables de sujeción.

El mástil se soporta en una base, compuesta de poleas y un tubo terminando en una esfera sólida a modo de pivote que se incerta en la parte baja de la base. El soporte permite ensamblar el mástil a la barra delantera que une los flotadores del catamarán. La forma de fijación de la barra soporte es mediante dos tuercas, que extrangulan la sección de la barra frontal de los flotadores como se ve en la figura 4.15.

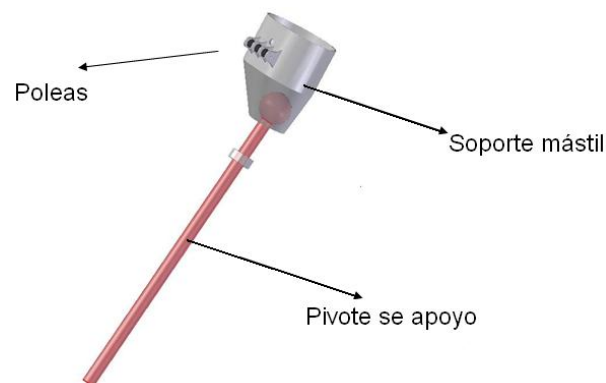


Figura 4.15: Base mástil.

La parte superior del mástil está constituida por un sistema polea cuya función es soportar la cuerda de arriado de vela. La polea fue diseñada para sujetar una cuerda de 1,5 [cm] de diámetro. El diámetro del pasador de la polea fue dibujado de 1 cm, sujeto a ser recalculado considerando la carga a la que estará sometido por el peso de la vela y las cargas propias de uso, como es por ejemplo la tensión de la cuerda para asegurar una buena sujeción de la vela. El conjunto se ve en la figura 4.16.

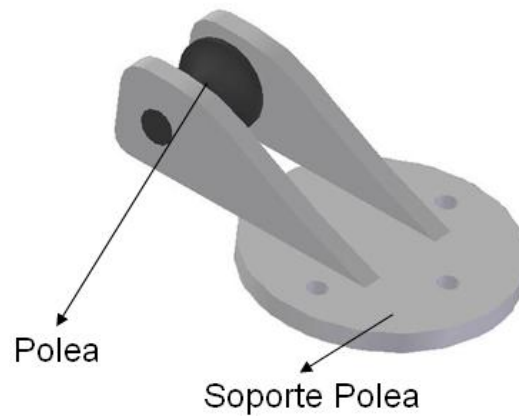


Figura 4.16: Soporte polea superior mástil.

La vela debe quedar inserta en el alma del mástil. La existencia de espacios libres entre la vela y el mástil genera zonas de alto esfuerzo en la zona de la vela adyacente a la separación. Esta acumulación de esfuerzos puede debilitar la tela de la vela que posteriormente se rajará en esa sección. Esta situación, se limita desarrollando una vela con un borde de sección cilíndrica, que se inserta en la perforación longitudinal que tiene el mástil y que se puede observar en la figura 4.17.

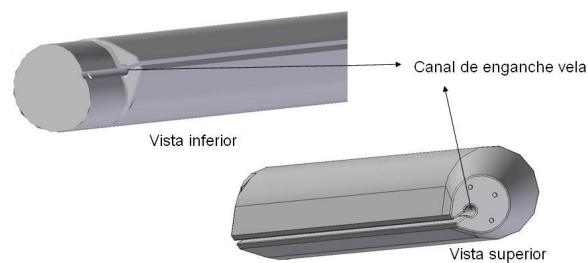


Figura 4.17: Enganche vela.

La botavará estará sujeta al mástil mediante un soporte diseñado para ser colocado a 15 cm de la base. El soporte se puede observar en la figura 4.18.



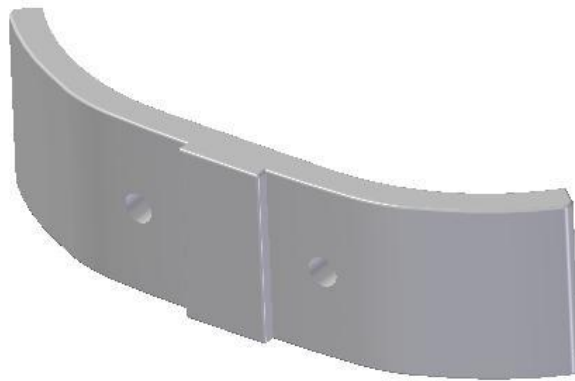


Figura 4.18: Base botavara.

El pivote de apoyo debe quedar sujeto a la barra delantera del catamarán. Esto no asegura que el mástil tienda a oscilar en este punto de apoyo. Es necesario entonces fijarlo mediante una barra en forma de V como se ve en la figura 4.19, esta se encuentra ensablada al pivote por una base plástica.

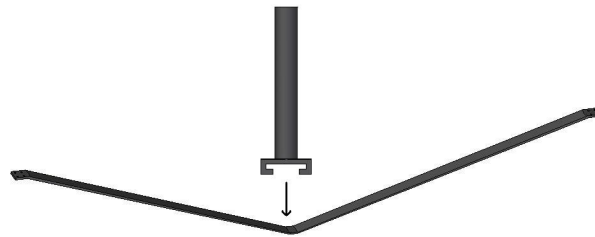


Figura 4.19: Base pivote de apoyo.

---

## Capítulo 5

### Memoria de Cálculo

---

#### 5.1. Mástil (R. Madrid, C. Jackson)

Para el análisis de esfuerzos en el mástil se consideran las incidencias de dos fuerzas principales. Una primera fuerza que se aplica directamente en el mástil ( $F_m$ ) y otra fuerza aplicada sobre la vela ( $F_v$ ). Como se menciona en los antecedentes el ángulo de ataque óptimo del mástil al enfrentar el flujo de viento es de  $45^\circ$ , como se muestra en la figura 5.1, ya que con este se logra la máxima deformación de la vela. Como resultado de  $F_v$  se produce una torsión la cual es máxima en el origen del mástil.

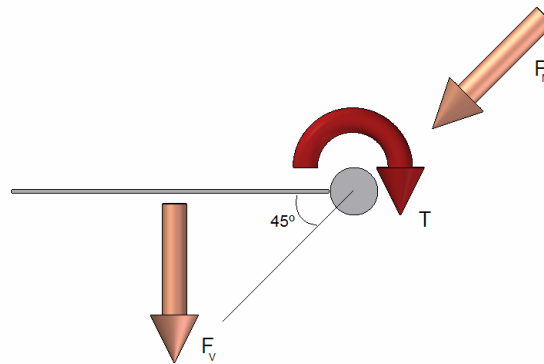


Figura 5.1: Fuerzas aplicadas al mástil y la vela.

Para conocer las fuerzas la magnitud de las fuerzas involucradas sobre la vela, se utiliza la ecuación de Bernoulli realizando una análisis sobre la diferencia de presiones que resulta al enfrentar la vela con el flujo de viento en contra.

Luego, la fuerza  $F_m$  se descompone, para lograr el siguiente diagrama de cuerpo libre, tal como se muestra en la figura 5.2. Así, el problema se convierte en un problema de vigas equivalente con empotramiento y carga distribuida en voladizo.

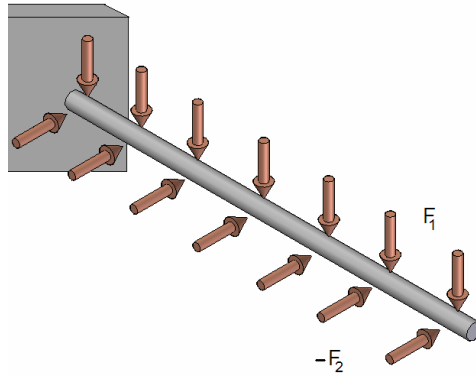


Figura 5.2: Diagrama cuerpo libre.

Luego,  $F_v$  y  $F_m$  valen, en función de la presión:

$$F_v = p \cdot a \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \quad (5.1)$$

$$F_m = p \cdot \pi \cdot r \cdot L \quad (5.2)$$

Donde

- **p** es la presión ejercida sobre la vela
- **a** es el área de la vela
- **r** es el radio del mástil
- **L** es el largo del mástil

$F_v$  es el resultado de descomponer la dirección del viento solo dejando como componente que deforma la vela la fuerza que incide perpendicularmente a esta. En cuanto a  $F_m$  es el resultado de la presión que incide en el área de la corteza del mástil. Por lo tanto, como se aprecia en la figura 5.2,  $F_1$  y  $F_2$  son las fuerzas que provocan torsión (T) y flexión ( $M_1$  y  $M_2$ ) en el mástil. Las expresiones para estos momentos se muestran a continuación.

$$M_1 = F_m \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot L + F_v \cdot L \quad (5.3)$$

$$M_2 = F_m \cdot \text{sen} \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot L \quad (5.4)$$

$$T = b \cdot F_v \quad (5.5)$$

En base a estas solicitaciones, se puede calcular un diámetro mínimo, usando el criterio de Von Mises

$$d^3 = \frac{16 \cdot n}{\pi \cdot S_y} \cdot [4M^2 + 3T^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

Donde

- **n** es el coeficiente de seguridad (entre 4 y 10) <sup>1</sup>
- $S_y$  es el límite de fluencia, que para el caso de la fibra de carbono tiene un valor de 3.9 (MPa)
- **d** es el diámetro de diseño mínimo del mástil, a calcular.

Para poder determinar numéricamente el diámetro se deben conocer otros datos, como

- Velocidad del viento (**v**) que tiene un valor de 1.5 (m/s) <sup>2</sup>
- Densidad del viento ( $\rho$ ) que tiene un valor de 1.3 (Kg/m<sup>3</sup>)
- Largo del mástil (**L**), que tiene un valor de 8,4 (m)
- Area de la vela (**a**), que tiene un valor de 10 (m<sup>2</sup>)
- Brazo desde el punto de aplicación de  $F_v$  hasta el mástil, (**b**), que tiene un valor de 1 (m)

En base a estos datos se obtiene que

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = 98,4[Nm] \quad , \quad T = 10,3[Nm] \quad \Rightarrow \quad d = 14[cm]$$

---

<sup>1</sup>En realidad, el mástil es hueco. Sin embargo, como primera aproximación supondremos que el diámetro interno es mucho menor que el externo. Por esta razón, castigaremos el cálculo con un coef. de seguridad 10.

<sup>2</sup>Valor correspondiente a lo que se denomina viento frescachón. Para valores mayores a éste, entramos en el rango de huracanes y tormentas.

## 5.2. Travesaños (R. Madrid)

El estudio critico de los travesaños del catamarán, se puede referir a una sollicitación máxima. Se considera que hay una tripulación de 4 personas con un peso máximo que permite el catamarán de 75 (Kg) por cada una. Además se considera que el travesaño a estudiar es el que porta el mástil. El material del mástil y de los travesaños es la fibra de carbono la cual tiene un límite de fluencia de 3.9 (MPa), que es aproximadamente 2 ordenes de magnitud menor que cualquier acero.

El análisis se centrará en el mayor requerimiento que puede sufrir el eje, como se muestra en la figura 5.3. Las figuras 5.4 y 5.5, muestran los diagramas de momento y corte de la viga.

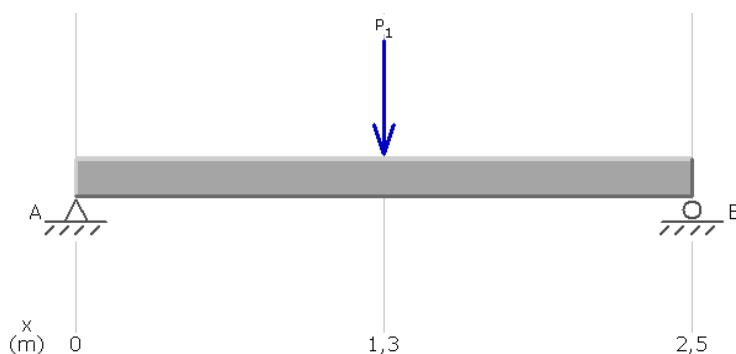


Figura 5.3: Diagrama del eje

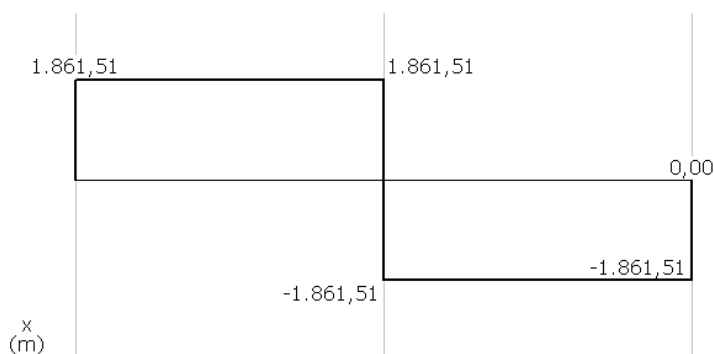


Figura 5.4: Diagrama de momento.

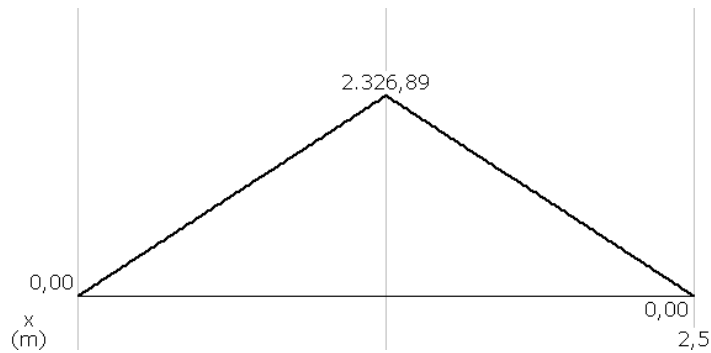


Figura 5.5: Diagrama de corte.

Estos resultados están calculados a través del programa *MD SOLID* al aplicar a una viga simplemente apoyada una carga central de 3723.02 (N). Esta fuerza está por la suma de cuatro tripulantes de 75 (Kg) cada uno lo que da un total de 300 (Kg) más el peso del mástil con la vela de peso promedio de 80 (Kg).

Como se aprecia en la figura 5.4 el momento máximo es de 2326.9 (Nm) y de la figura 5.5 el corte máximo es de 1861.5 (N).

Para poder diseñar un travesaño que soporte estas solicitaciones se utiliza la ecuación de diseño

$$\frac{S_y}{n} \leq \tau_{maximo} \quad (5.7)$$

Donde

- $S_y$  es el límite de fluencia de la fibra de carbono
- $\sigma$  es el momento flector
- $\tau$  es el esfuerzo de corte

Luego, estos se modelan para la periferia del travesaño, como

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{d_e}{2}}{I} \quad (5.8)$$

Donde  $d_e$  es el diametro exterior del travesaño. Considerando que en la periferia no existe esfuerzo de corte.

La inercia de un tubo con diámetro exterior de 20 (cm) y 19 (cm) de diámetro interior, se expresa como

$$I = \frac{\pi \cdot (r_{ext}^4 - r_{int}^4)}{4} \quad (5.9)$$

Que nos entrega un valor de  $0.000233 \text{ (m}^4\text{)}$ . Entonces, reemplazando en 5.8.

$$\sigma = 998669,527 [Pa]$$

Además,

$$\tau = 0 [Pa]$$

Luego, despejando de la ecuación 5.7

$$\frac{3,9 \cdot 10^6}{n} \geq 998669,527$$

Despejando, para un coeficiente de seguridad crítico

$$n = \frac{3,9 \cdot 10^6}{998669,527} = 3,9051$$

Aproximando

$$n = 4$$

### 5.3. Cascos (C. Jackson)

Usando la condición de equilibrio entre las fuerzas de empuje, dado el volumen desplazado, y el peso del catamarán podemos obtener una restricción de diseño en el peso máximo que debe tener la estructura de la embarcación. De esta manera:

$$P = \rho V \quad (5.10)$$

Donde

- $V$  es el volumen desplazado, igual a  $0.8(m^3)$
- $\rho$  es la densidad del agua, igual a  $1000 (kg/m^3)$

Por lo tanto el peso total máximo del catamarán en conds. de operación es  $P=800[kg]$ . Si a esto restamos el peso de la tripulación ( $181[Kg]$  como máximo, según normativa) y el peso de los dos cascos ( $49.5[kg]$  c/u), quedan  $520[kg]$ . Luego, la restricción de masa sobre la estructura del catamarán queda:

$$P_{estr} \leq 520[kg]$$

#### 5.4. Estabilidad (R. Madrid)

Para el análisis de la estabilidad se debe considerar que la fuerza de sotavento en la vela, que al descomponerla conlleva una fuerte componente perpendicular al lateral de la embarcación, como se muestra en la figura 5.6.

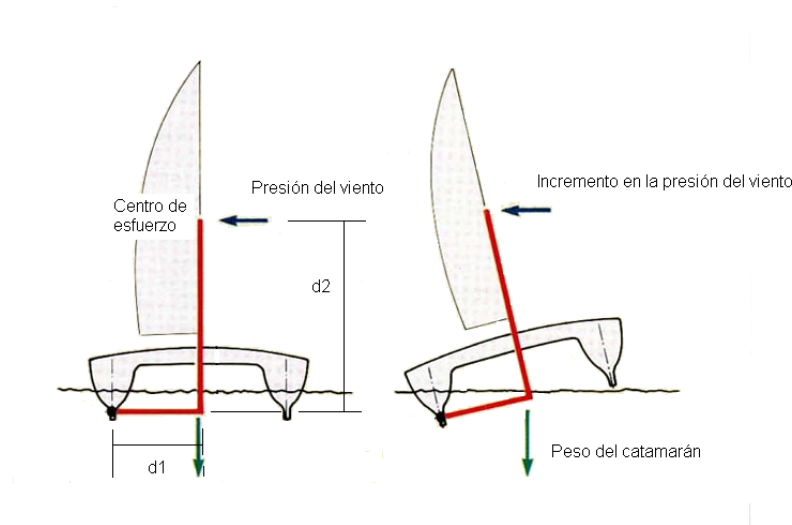


Figura 5.6: Fuerzas implicadas en la navegación

A continuación se presenta la nomenclatura que se va a utilizar de aquí en más para los cálculos de la estabilidad.



- PC : Peso del catamarán
- PrV: Presión del viento
- $M_e$  : Momento de enderezamiento
- $M_v$  : Momento de volcamiento
- AV : Área de la vela
- $d_1$  : Distancia desde el centro del casco hasta la orza
- $d_2$  : Distancia desde el centro del casco hasta el centro de esfuerzo en la vela
- VV : Velocidad del viento

Para lograr un balance entre las fuerzas involucradas, se utiliza la formula

$$PC \cdot d_1 = PrV \cdot d_2$$

que se define como

$$\text{Momento de enderezamiento} = \text{Momento de volcamiento}$$

El de la estabilidad de un catamarán clase A, con orza, se calcula en base a la mayor velocidad que puede alcanzar antes del volcamiento. Esto se obtiene de la siguiente forma.

$$M_v = Prv \cdot AV \cdot d_2$$

$$M_v = 0,0051x(VV)^2 \cdot AV \cdot d_1$$

También se tiene

$$M_e = PC \cdot d_1$$

Luego se despeja la velocidad máxima del viento para la embarcación, como

$$\text{Velocidad maxima del viento} = \sqrt{\frac{PC \cdot d_1}{0,0051 \cdot AV \cdot d_2}}$$

Esta velocidad queda expresada en Knuts, medida de velocidad inglesas. El cálculo para el catamarán que estamos diseñado hay que considerar los siguientes datos:

- Peso del catamaran: 800 kilos, 1763.698 Lbs
- $d_1$ : 1.4 metros, 3.7 feets
- $d_2$ : 4 metros, 13.123 feets
- Área de la vela:  $10 \text{ m}^2$ ,  $107.64 \text{ fts}^2$
- Altura al centro

Luego, el cálculo queda como

$$Velocidad \text{ maxima del viento} = \sqrt{\frac{1763,698 \cdot 3,7}{0,0051 \cdot 107,64 \cdot 13,123}}$$

Luego

$$Velocidad \text{ maxima del viento} = 30,09[Knts] = 15,47[m/s]$$

El termine de "velocidad máxima del viento" se define para la estabilidad estática del diseño, que se puede describir como el "momento crítico" cuando que es cuando el catamarán está al borde de volcar es decir, cuando el casco en barlovento se levanta del agua. Luego se define una "estabilidad dinámica" como.

$$Velocidad \text{ maxima de estabilidad dinamica} = 0,6 \cdot velocidad \text{ maxima del viento}$$

Estos cálculos fueron desarrollados por M.O.C.R.A (Multihull Offshore Cruising & Racing Association of the *United Kingdom*) para catamaranes, por lo cual diseñaron el limite de velocidad al 60 % de su capacidad máxima, para poder sobrellevar mareas imprevistas o bruscas, como también un comportamiento impredecible del viento en alta mar. Entonces

$$Velocidad \text{ maxima de estabilidad dinamica} = 9,3[m/s]$$

## 5.5. Cálculo de la Sujeción del Timón al Casco (D. Elgueta)

En éste caso se necesita calcular el material adecuado para los pernos, ya que estos están sometido a corte.

1. Velocidad del bote: Usualmente este tipo de catamarán alcanza una velocidad máxima de 30 nudos, lo que corresponde a una velocidad de 19,5 (m/s)
2. Fuerza en la Paleta: Para calcular la fuerza ejercida sobre la paleta, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = A \cdot C_l \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (5.11)$$

en donde: F= Fuerza Ejercida(N), A= Área de la Paleta (m<sup>2</sup>), C<sub>l</sub>= Coeficiente de Elevación, y  $\rho$  = Densidad del Agua (Kg/m<sup>3</sup>).

Reemplazando:

$$F = \frac{1}{2} \cdot 0,1664 \cdot 0,5 \cdot 1000 \cdot 19,5^2 = 15818N \quad (5.12)$$

3. Momento flector en la pieza sujetadora más baja: Primero hay que asumir que la fuerza se aplica en el centro de la sujeción y el extremo inferior de la paleta, sea esta distancia L = 0,32(m), entonces:

$$M = \frac{1}{2} \cdot L \cdot F = 2530\left(\frac{N}{m}\right) \quad (5.13)$$

en donde: M= Momento Flector ( $\frac{N}{m}$ ) F= Fuerza Ejercida(N). L= Distancia Media entre la sujeción y el extremo de la paleta (m)

4. Carga en la sujeción superior:

$$FU = \frac{M}{D} = 9550N \quad (5.14)$$

En donde:

FU= Carga sobre la sujeción superior (N), M= Momento flector en la sujeción menor (N/m), y D= Distancia entre sujeciones = 0,265 (m).

5. Carga en la sujeción inferior

$$FL = FU + F = 9550 + 15818 = 25368N \quad (5.15)$$

En donde: FL= Carga sobre la sujeción inferior(N), FU= Carga sobre la sujeción superior(N), y F= Fuerza aplicada sobre la Paleta (N)

6. Diseño de los Pernos:

Para el cálculo de los pernos se utilizó un factor de seguridad de 4, y se tiene un diámetro de 5mm de cada perno, luego como existen 4 pernos por sujeción, la fuerza resultante es de 6342 N. Entonces el material necesario se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{UTS} = \frac{n_s \cdot FL}{d^2 \cdot \pi \cdot 2} \quad (5.16)$$

Lo que entrega un  $\sigma_{UTS}$  de 161 MPa, luego con pernos M5 de Acero Inoxidable AISI 316 de 185 MPa basta.

---

## Capítulo 6

### Bibliografía

---

#### 6.1. Libros y Documentación

- [1] Corrado Damiano, Simone Lazzara, Antonio Mancuso, Gabriele Virzì Mariotti: *Studio Sulla Profilatura Di Carene Per Navi Ad Alta Velocité.*
- [2] Horacio Mery M.: *Mecánica de Fluidos I*, 1ra Edición, Universidad de Chile - Fac. Cs. Fis. y Mat., Departamento de Obras Civiles, Santiago - Chile, 1972.
- [3] Shigley Joseph, Mishke Charles: *Diseño en Ingeniería Mecánica*, 6ta Edición, McGraw Hill, 2002.

#### 6.2. Internet

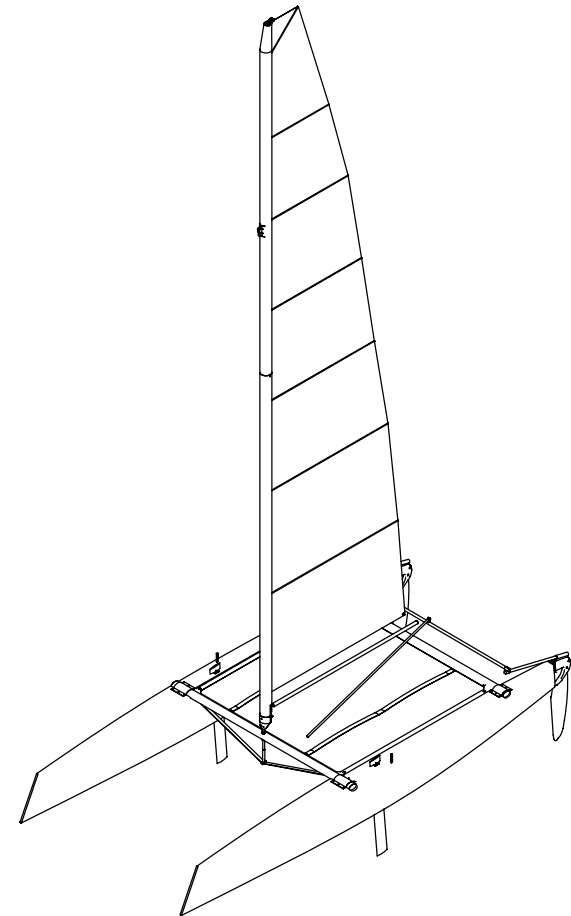
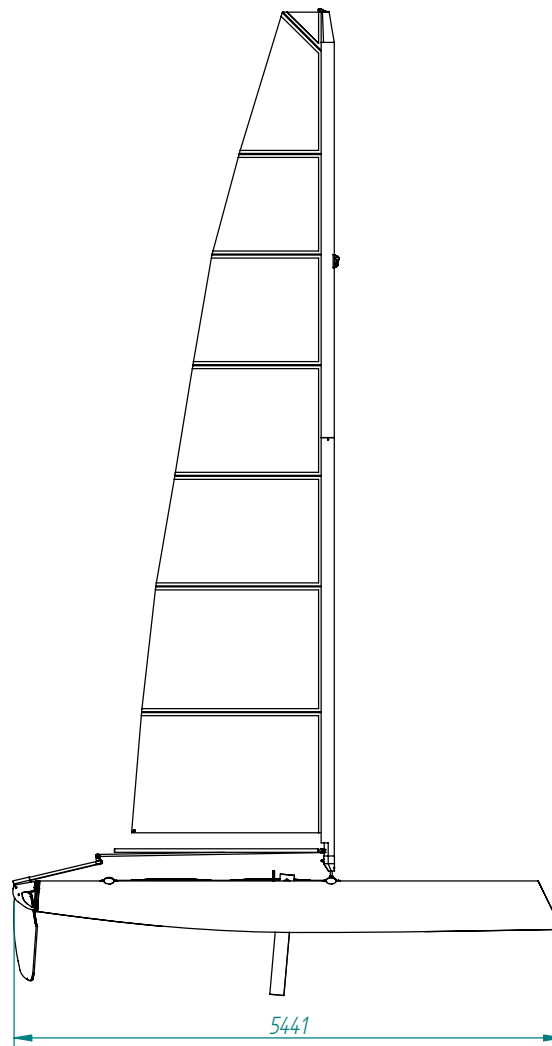
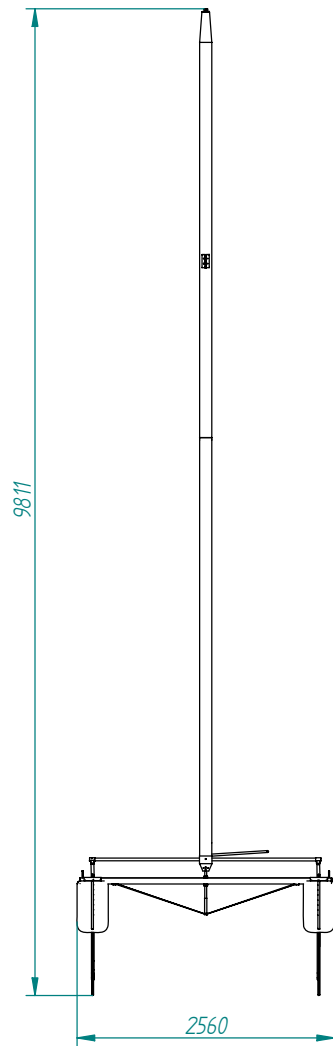
- [4] <http://www.nautica.it/superyacht/521/tecnica/mainsail.htm/>
- [5] <http://www.nautica.it/superyacht/524/tecnica/mainsail.htm/>
- [6] <http://www.seed.slb.com/es/scictr/watch/sailing/index.htm/>
- [7] <http://www.pcm.unifi.it/Lavorisalerno/>

---

**Anexo A**

**Planos del Catamarán a Vela**

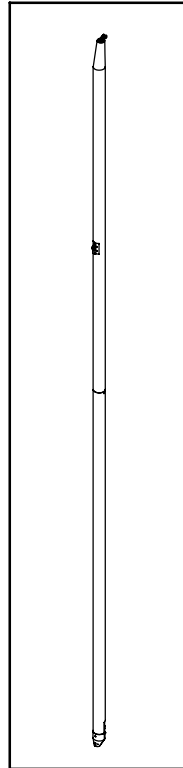
---



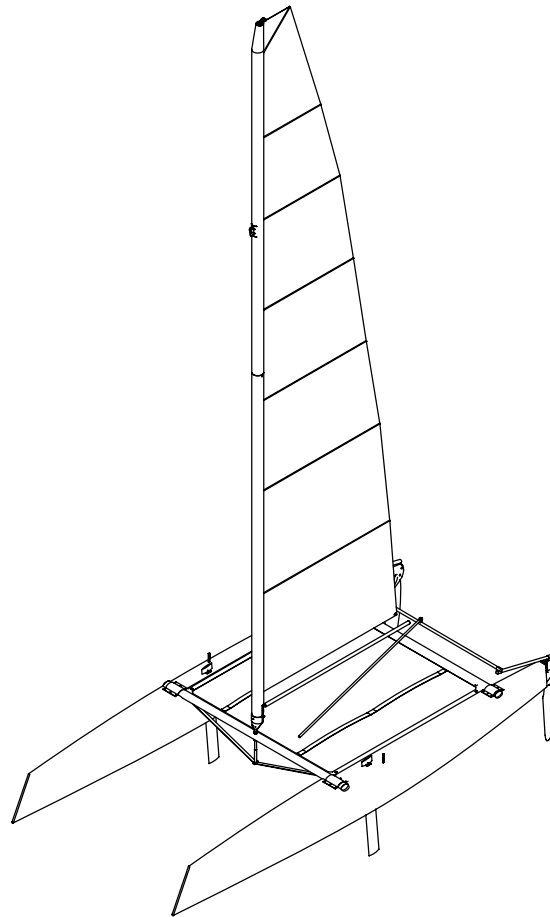
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Larios	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 01	Conjunto: Catamarán a Vela	
			Escala 1 : 50	A3	Hoja 1 de 31

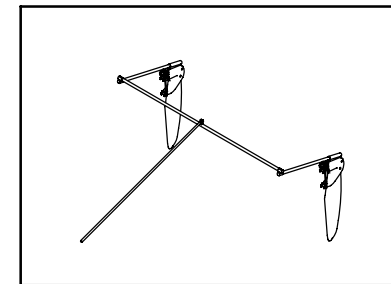
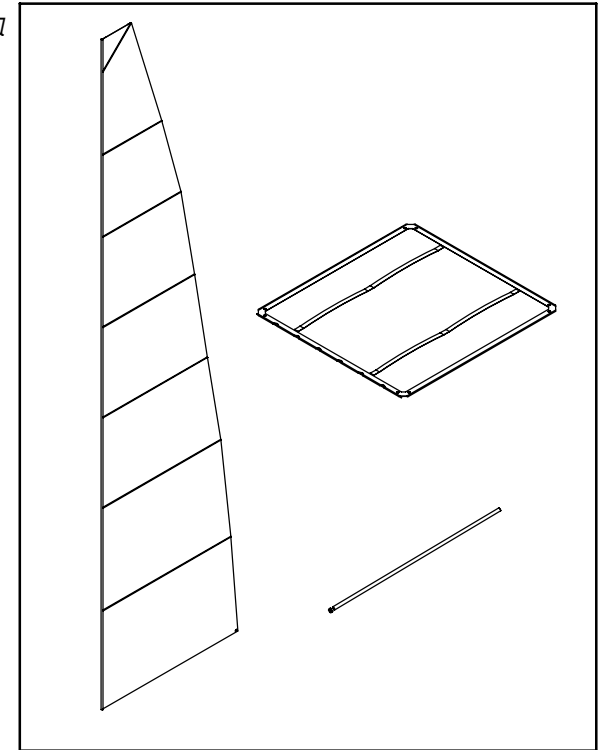
Subconjunto 2: Mástil



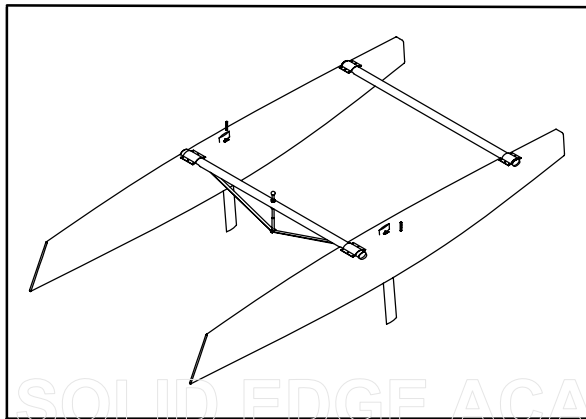
Subconjunto 3: Vela, Trampolín y Botavara



Conjunto: Catamarán a Vela



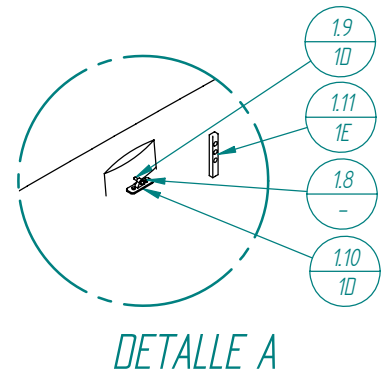
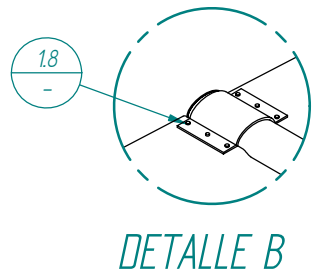
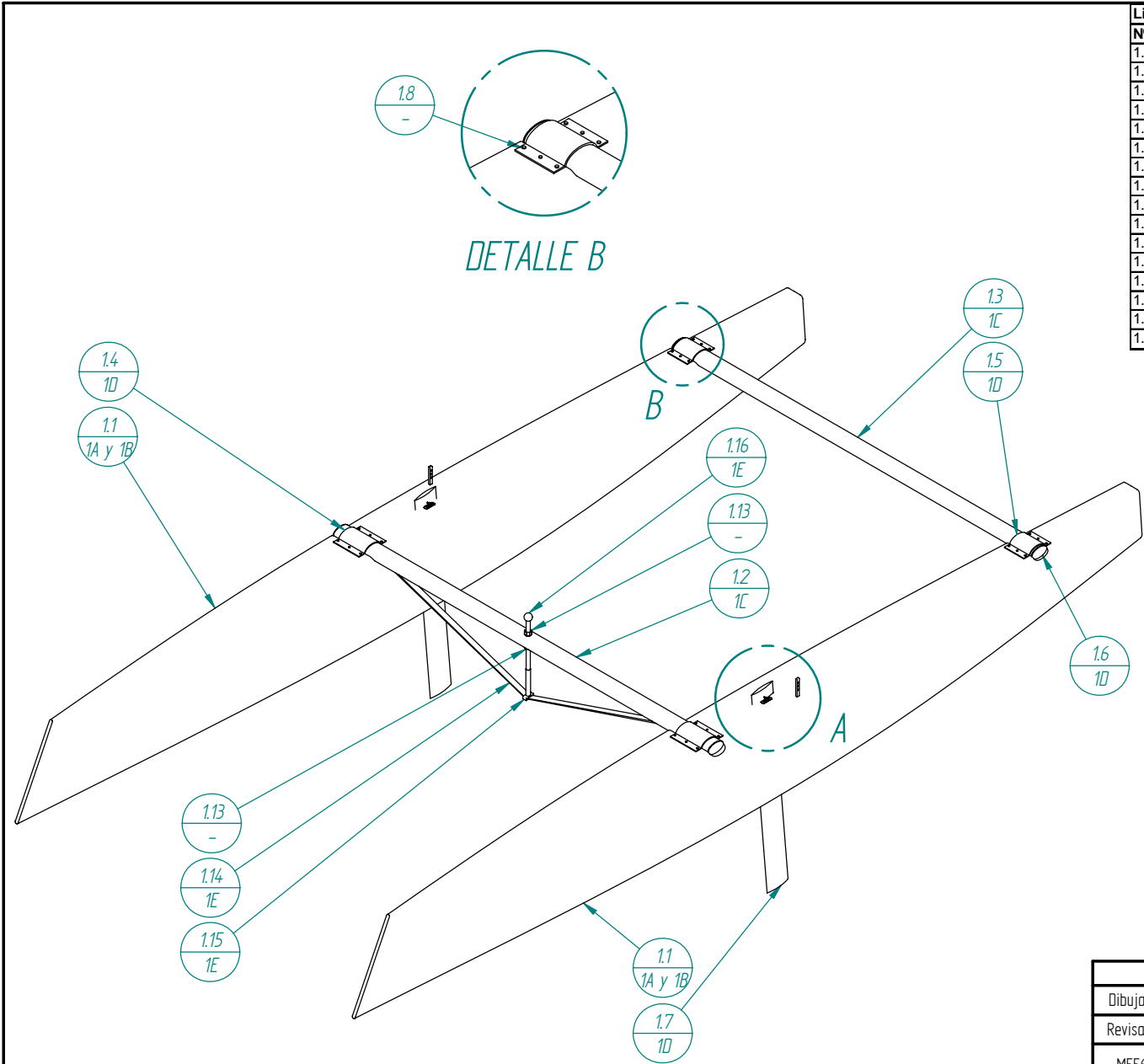
Subconjunto 4: Timón



Subconjunto 1: Base

	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Larios	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 02	Conjunto: Catamarán a Vela	
			Escala 1 : 50	A3	Hoja 2 de 31

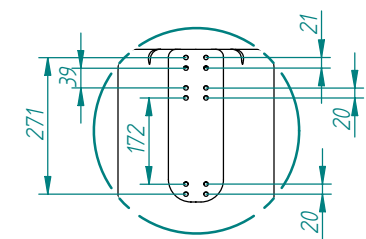




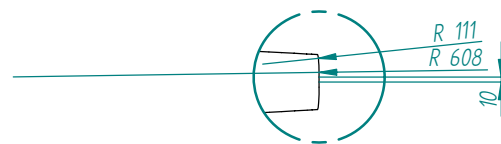
Listado de Piezas				
Nº	Designación	Cantidad	Material	Observaciones
1.1	Casco	2	Fibra de vidrio	
1.2	Barra delantera	1	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.3	Barra trasera	1	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.4	Fijador delantero	2	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.5	Fijador trasero	2	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.6	Tapa	4	Polipropileno	
1.7	Pala	2	Fibra de carbono	
1.8	Perno M5 L 30 [mm]	72	Acero zincado	
1.9	Pasador	2	Aluminio 6063 - T6	
1.10	Soporte	4	Acero zincado	
1.11	Tensor	2	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.12	Refuerzo	72	Acero zincado	
1.13	Tuerca M20	2	Acero zincado	
1.14	Tensor mástil	1	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.15	Base empalme	1	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo
1.16	Empalme	1	Aluminio 6063 - T6	Recubrimiento anticorrosivo

	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Larios	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 1	Subconjunto 1: Base	
			Escala 1: 20	A3	Hoja 3 de 31

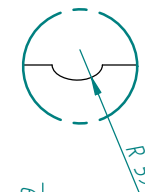
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



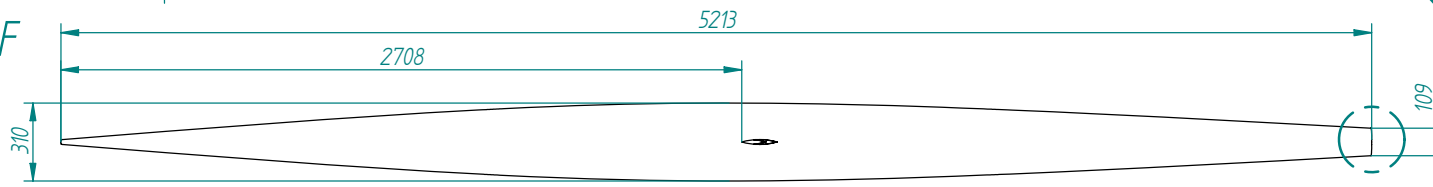
DETALLE F



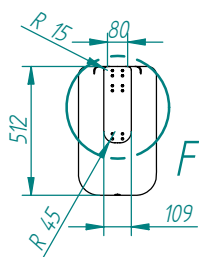
DETALLE A



DETALLE B



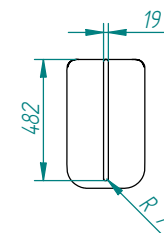
A



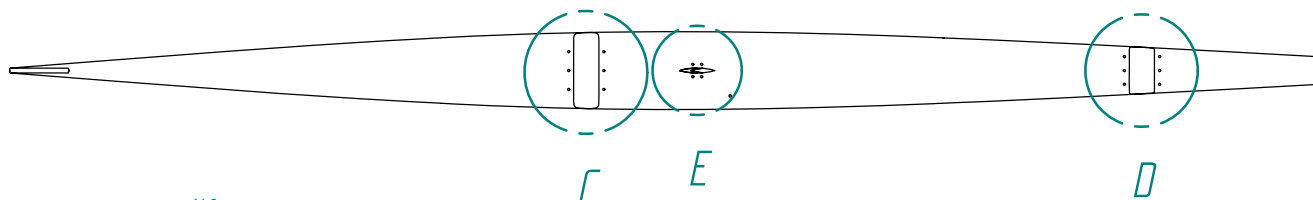
F



B



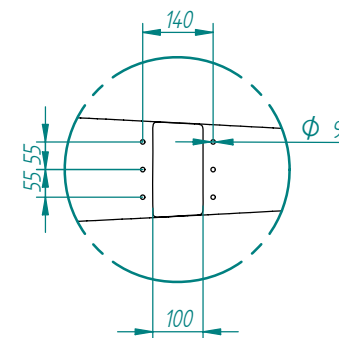
D



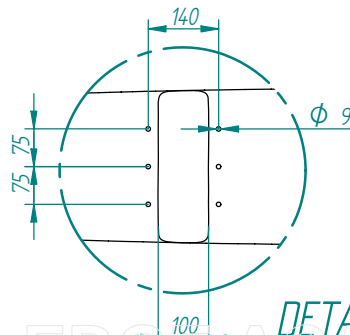
C

E

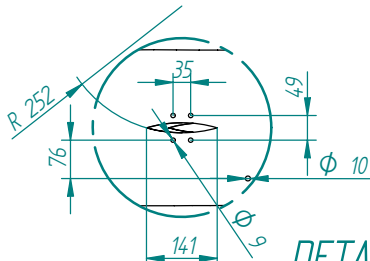
D



DETALLE D



DETALLE C

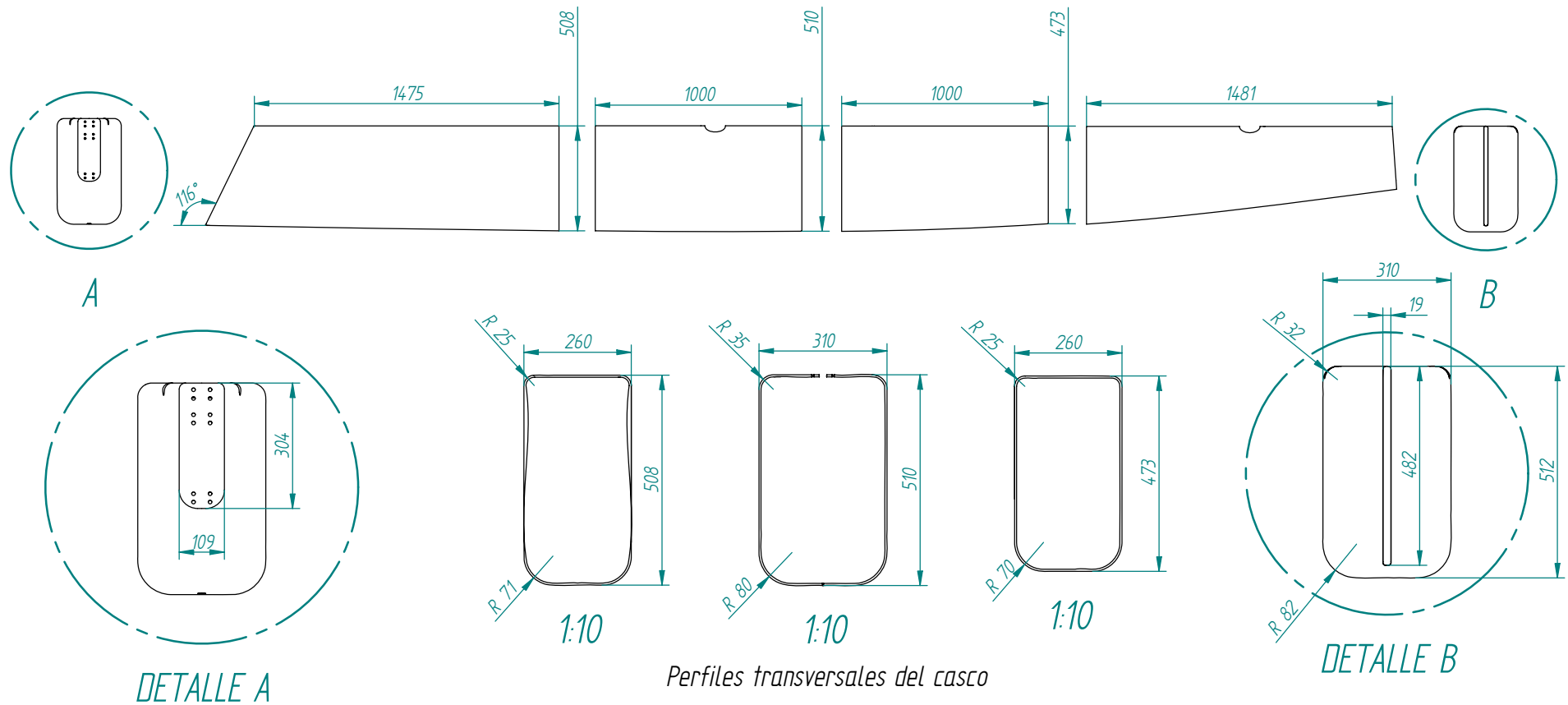


DETALLE E

	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Laríos	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 1A	Despiece Subconjunto 1: 1.1 Casco	
			Escala 1: 20	A3	Hoja 4 de 31

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Espesor del casco: 5 mm

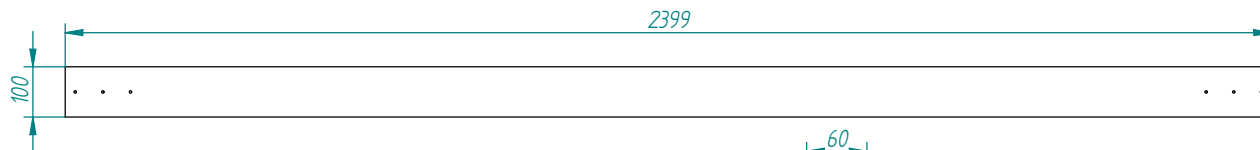
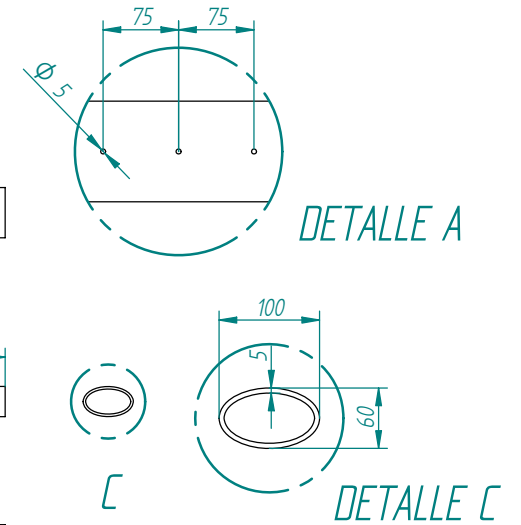
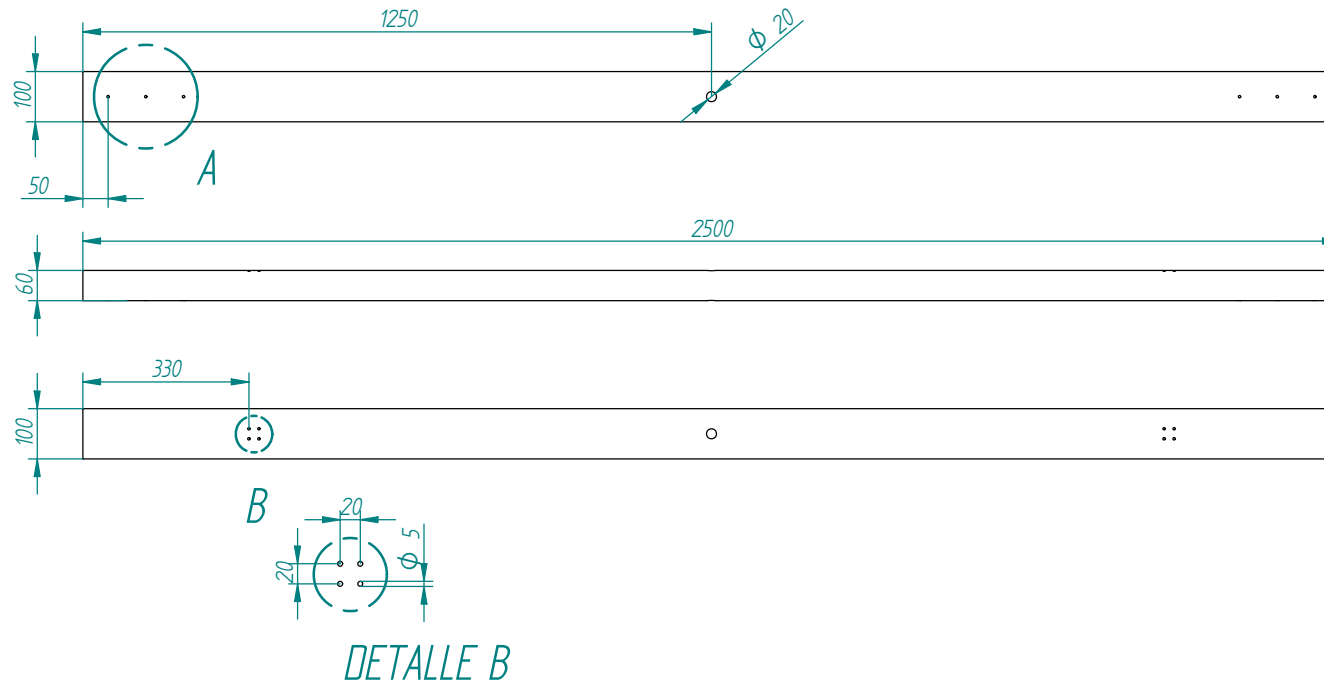


Perfiles transversales del casco

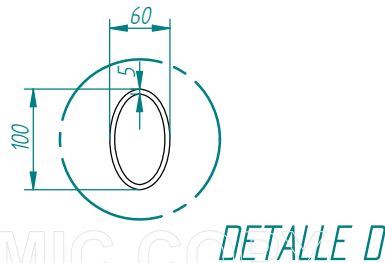
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Larios	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 1B	Despiece Subconjunto 1: 1.1 Casco	
			Escala 1: 20	A3	Hoja 5 de 31

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

### 1.2 Barra delantera

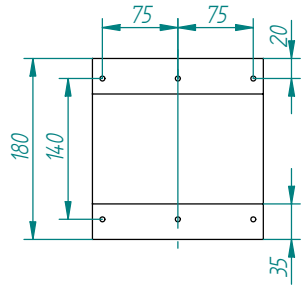
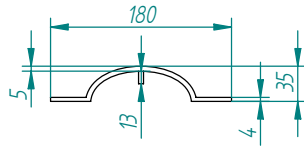
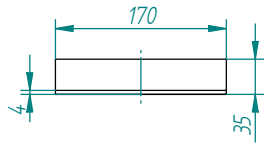


### 1.3 Barra trasera



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

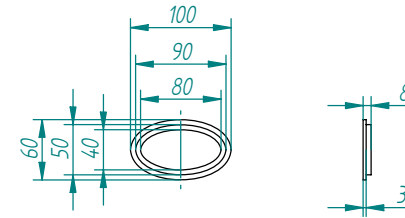
	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Larios	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06	ME56B Taller de Diseño - Grupo 2		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
			Plano 1C	Despiece Subconjunto 1: Barras Cruzadas	
			Escala 1 : 10	A3	Hoja 6 de 31



14 Fijador delantero



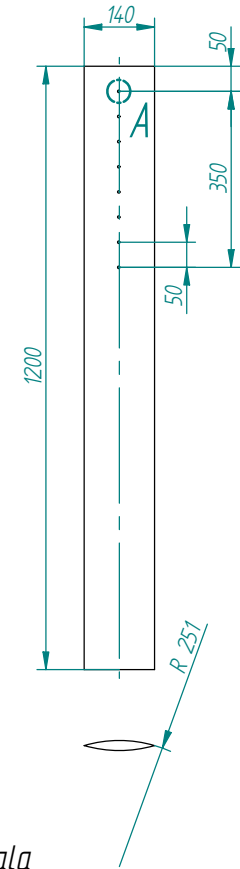
19 Pasador



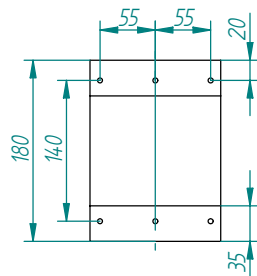
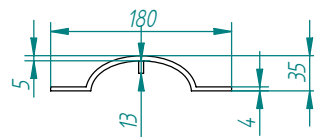
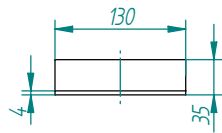
16 Tapa



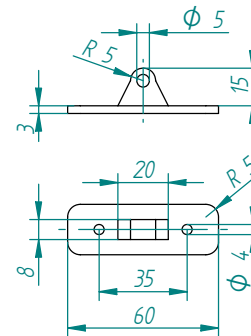
DETALLE A



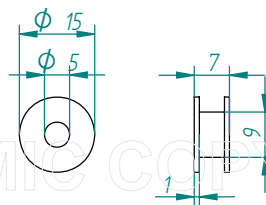
17 Pala



15 Fijador trasero



1.10 Soporte



1.12 Refuerzo

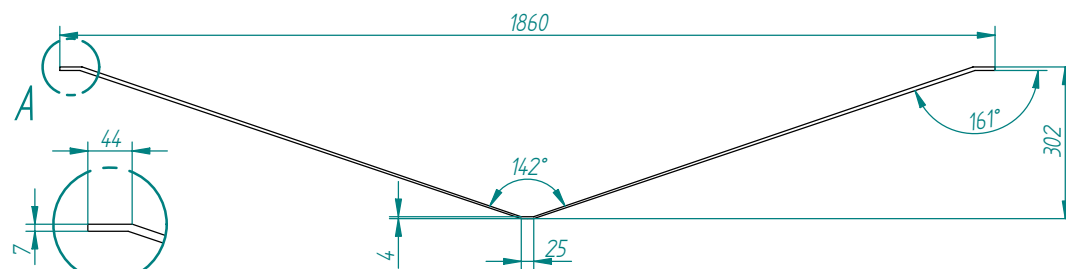
	Nombre	Fecha
Dibujado	Javier Larios	21/04/06
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2		

Salvo indicación contraria  
cotas en milímetros  
ángulos en grados  
tolerancias  $\pm 0,5$  y  $\pm 1^\circ$

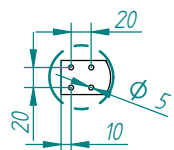
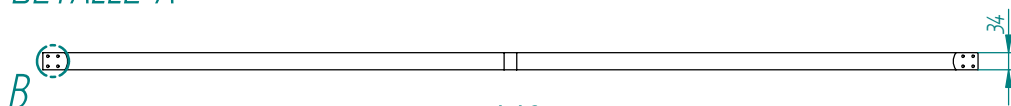
Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Mecánica

Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela

Plano 10	Despiece Subconjunto 1: Piezas Varias		
Escala 1 : 10	A3	Hoja 7 de 31	

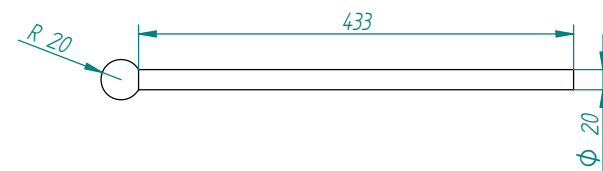


DETALLE A

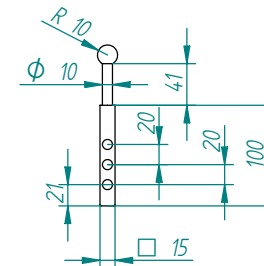


DETALLE B

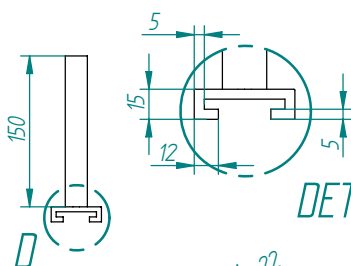
1.14 Tensor mástil



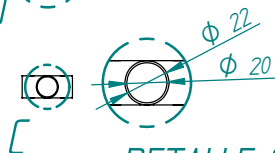
1.16 Empalme



1.11 Tensor



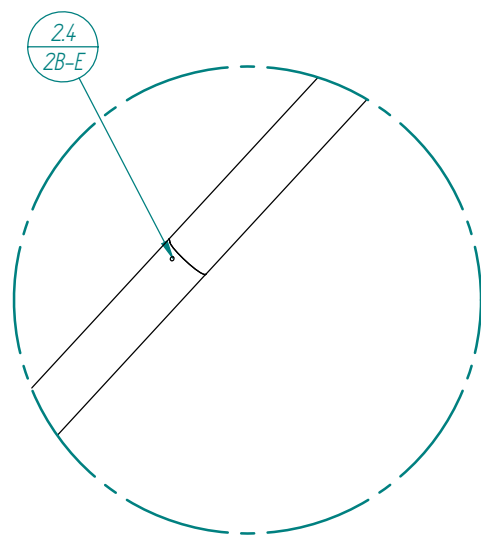
DETALLE D



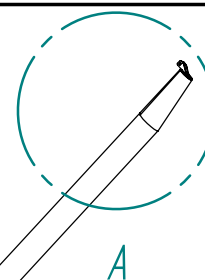
DETALLE C

1.15 Base empalme

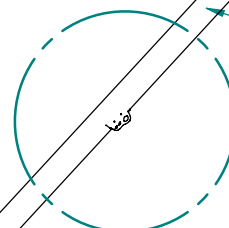
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Javier Larios	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 1E	Despiece Subconjunto 1: Piezas Varias	
			Escala 1: 5	A3	Hoja 8 de 31



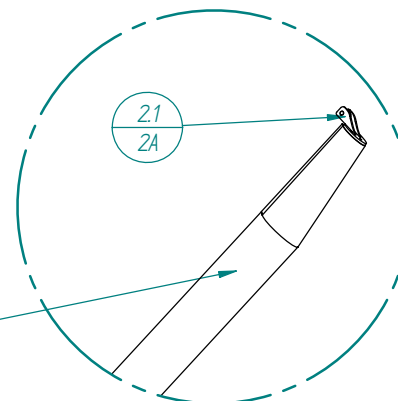
DETALLE D



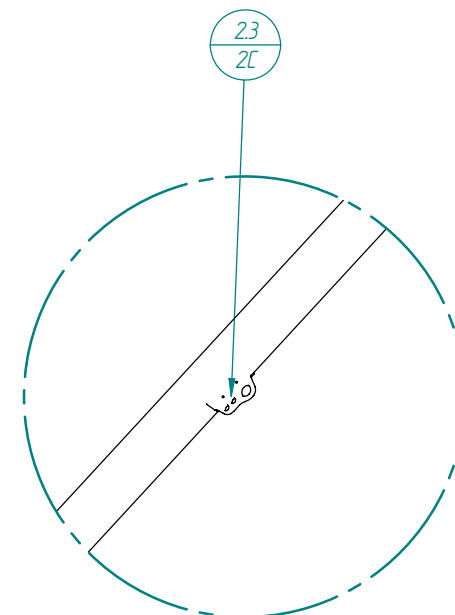
A



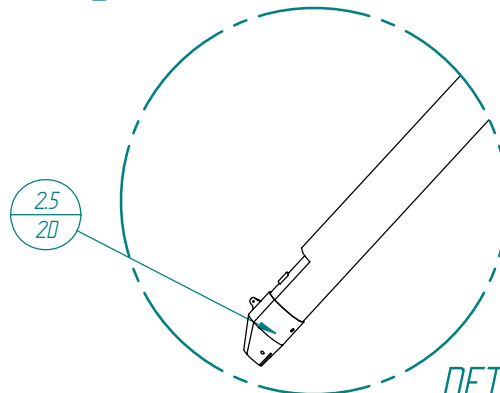
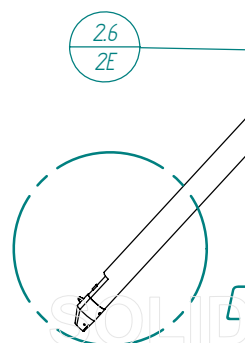
B



DETALLE A



DETALLE B

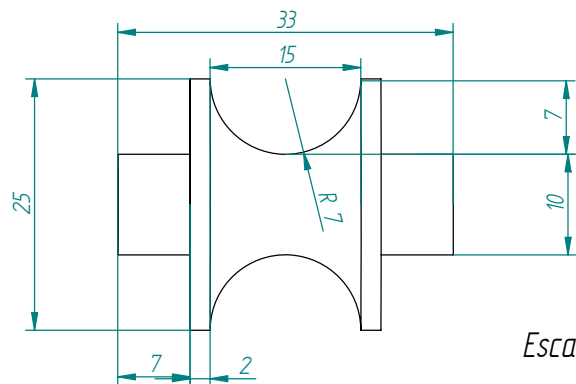


DETALLE C

Listado de Piezas

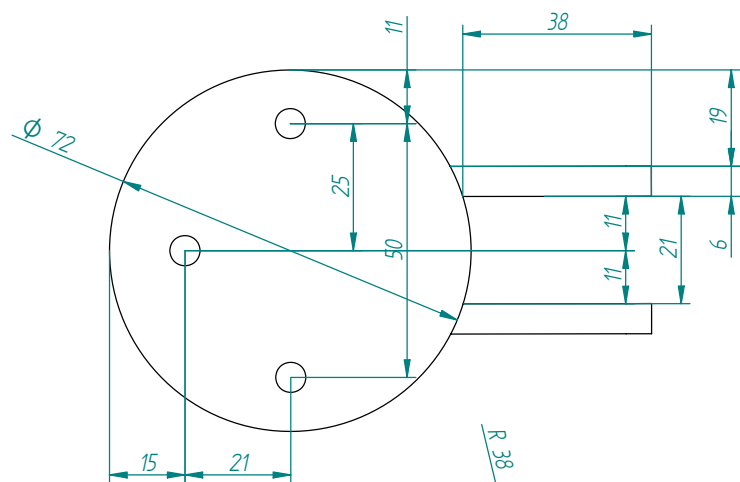
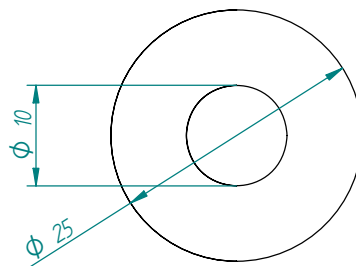
Nº	Designación	Cantidad	Material	Observaciones
2.1	Soporte sup. polea - polea	1 - 1	Aluminio 6063-T6	Recubrimiento anticorrosivo
2.2	Sección superior mástil	1	Fibra Carbono6	-
2.3	Soporte tensores mástil	1	Aluminio 6063-T6	Recubrimiento anticorrosivo
2.4	Perforación juntura mástil	1	-	-
2.5	Base soporte mástil	1	Aluminio 6063-T6	Recubrimiento anticorrosivo
2.6	Sección inferior mástil	1	Fibra Carbono	-

	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	José L. Fuenzalida	20/04/06			
Revisado	Javier Larios	20/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 2	Subconjunto 2: Mástil	
			Escala 1:30	A3	Hoja 9 de 31



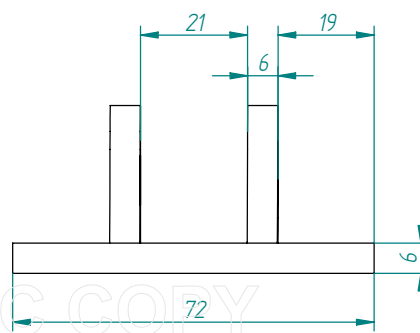
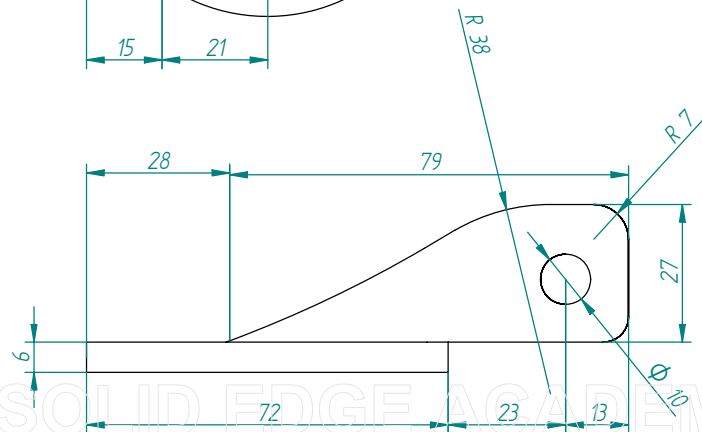
Escala 2 : 1

Polea

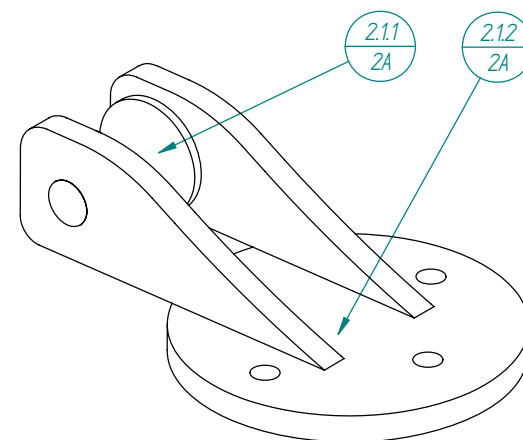


Escala 1 : 1

Soporte polea superior



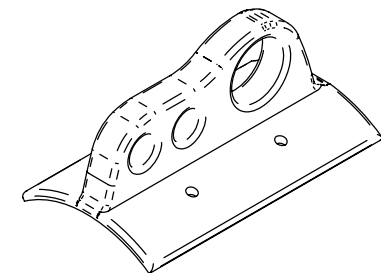
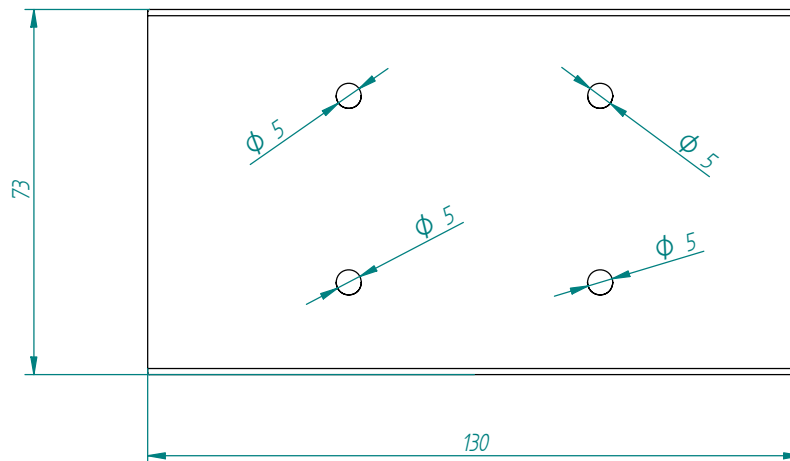
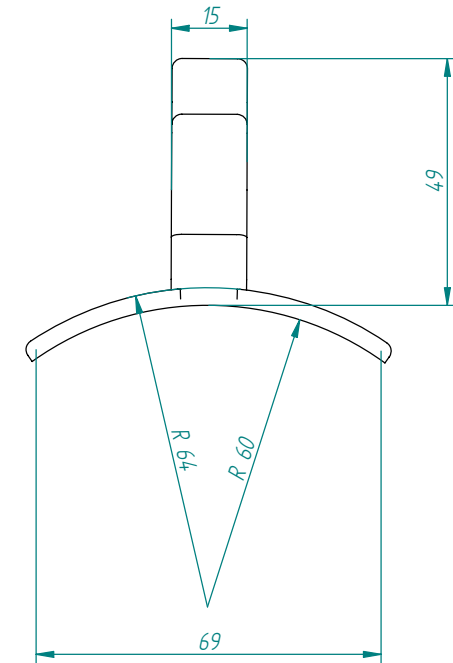
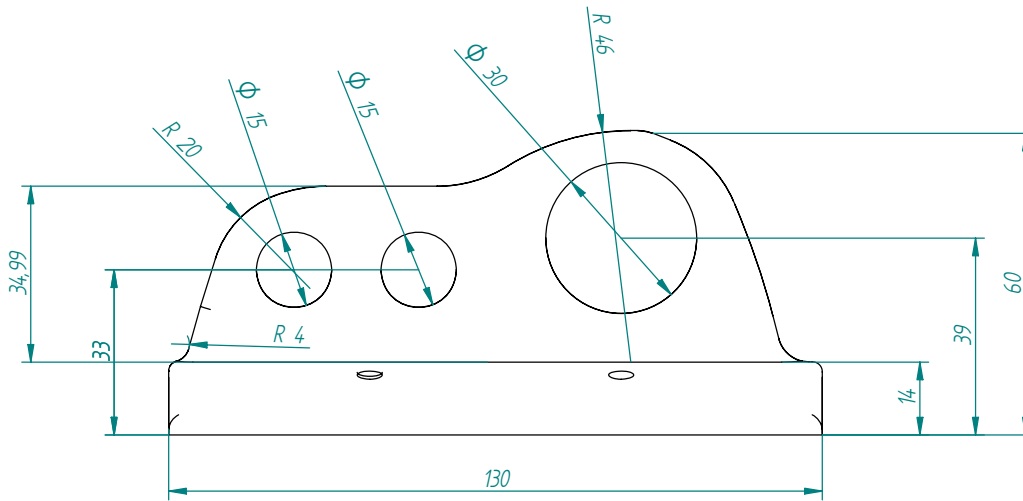
Listado de Piezas				
N°	Designación	Cantidad	Material	Observaciones
2.11	Soporte Polea superior	1	Aluminio 6063-T6	Recubrimiento anticorrosivo
2.12	Polea	1	Aluminio 6063-T6	Recubrimiento anticorrosivo



Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	José L. Fuenzalida			
Revisado	Javier Larios			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2		Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Plano 2A	Despiece Subconjunto 2 Mástil: Soporte y polea superior mástil	
		Escala 1 : 1	A3	Hoja 10 de 31

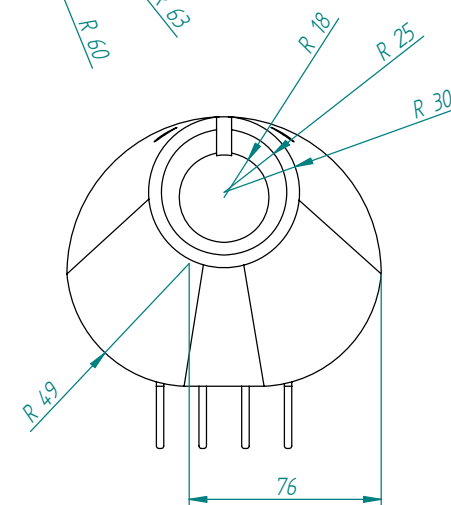
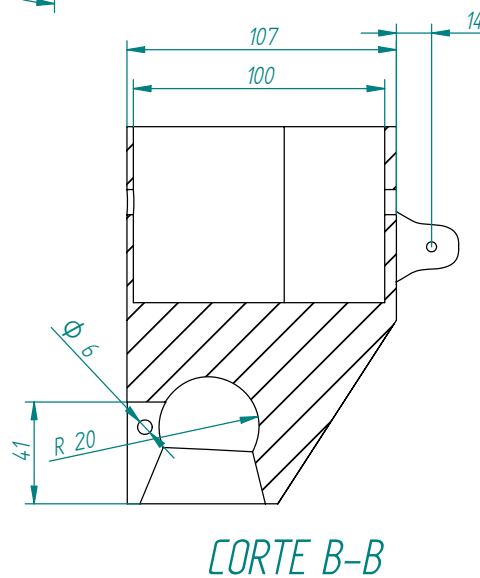
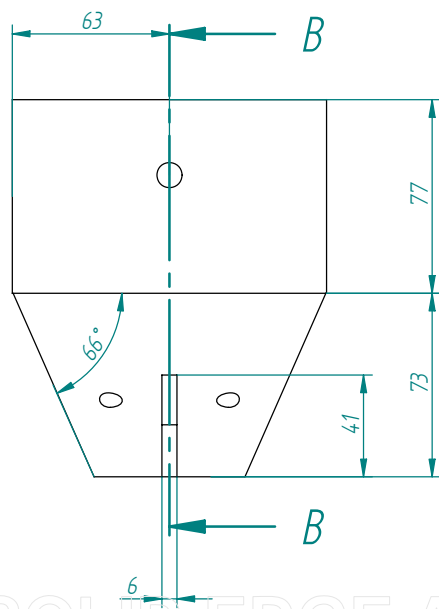
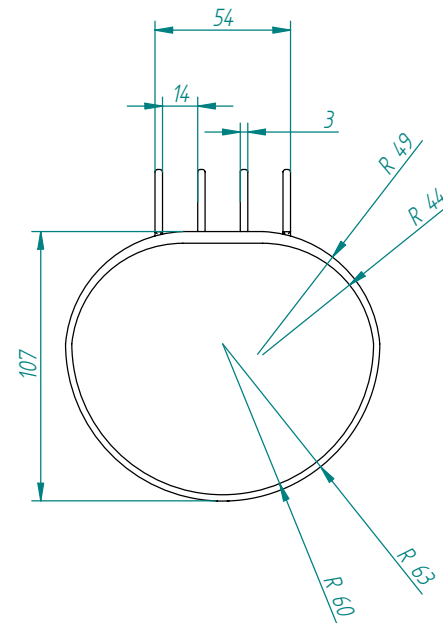
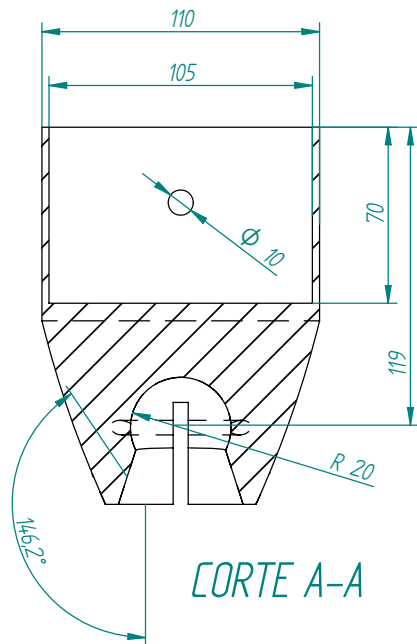
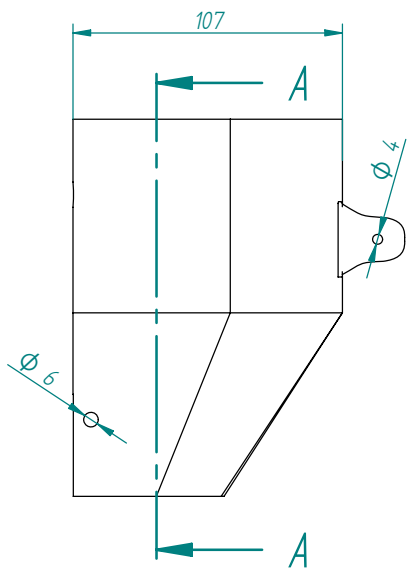






	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	José L. Fuenzalida	20/04/06		
Revisado	Javier Larios	20/04/06		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 2C	Despiece subconjunto II: Soporte tensores mástil
			Escala 1 : 1	A3
			Hoja 12 de 31	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

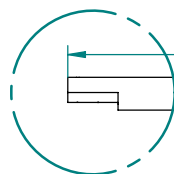


	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	José L. Fuenzalida	20/04/06		
Revisado	Javier Larios	20/04/06		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 20	Despiece suconjunto II: Base soporte mástil
			Escala 1 : 2	A3 Hoja 13 de 31

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

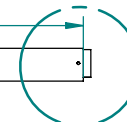


C



D

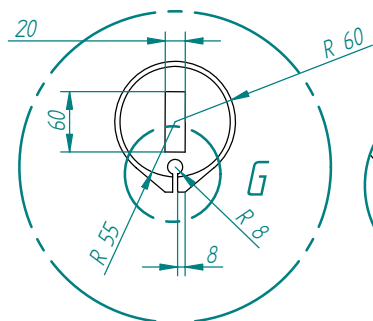
4230



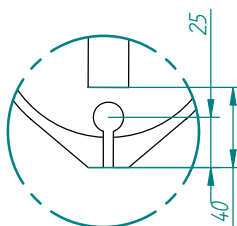
E



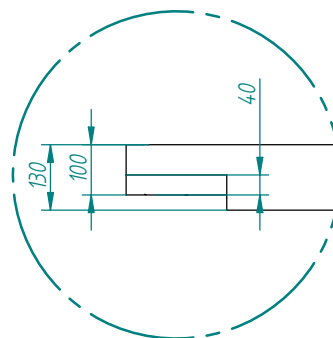
F



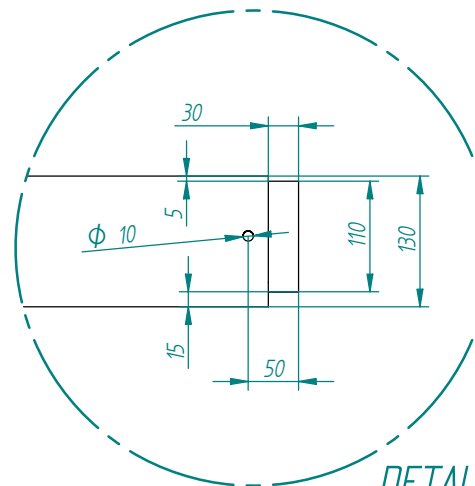
DETALLE C



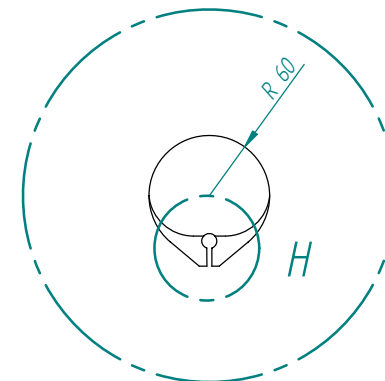
DETALLE G



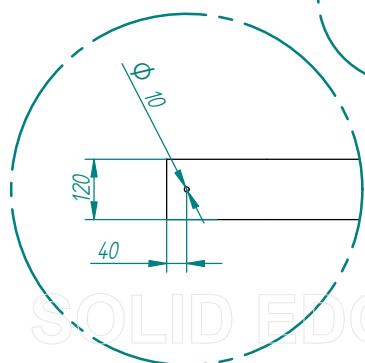
DETALLE D



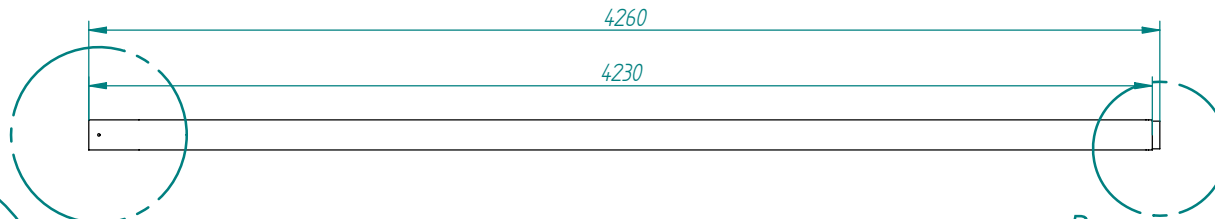
DETALLE E



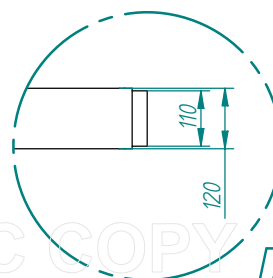
DETALLE F



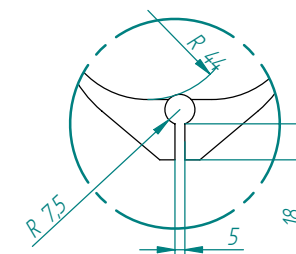
DETALLE A



B

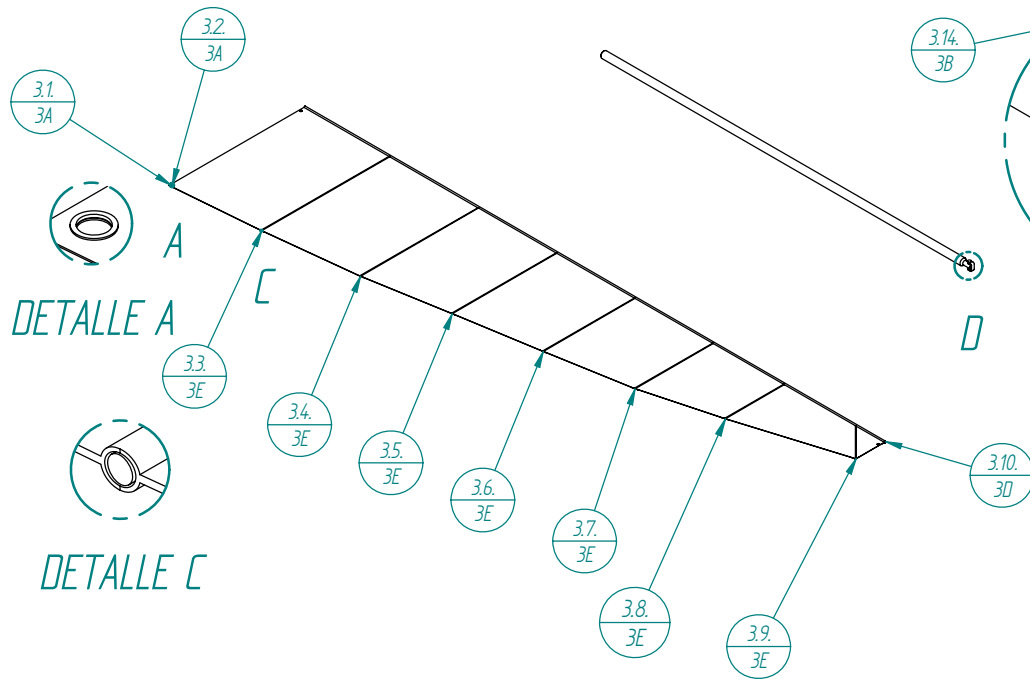


DETALLE B



DETALLE H

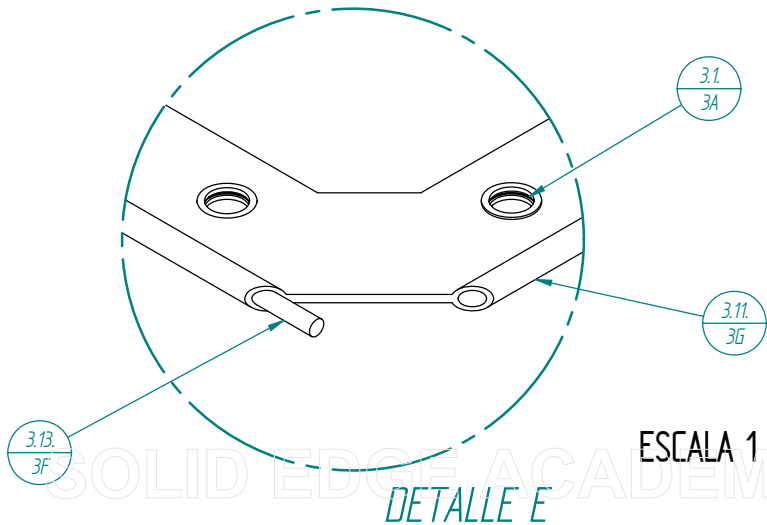
	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	José L. Fuenzalida	20/04/06		
Revisado	Javier Larios	20/04/06		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 2E	Despiece subconjunto 2: Sección inferior mástil
			Escala 1: 20	A3 Hoja 14 de 31



DETALLE A

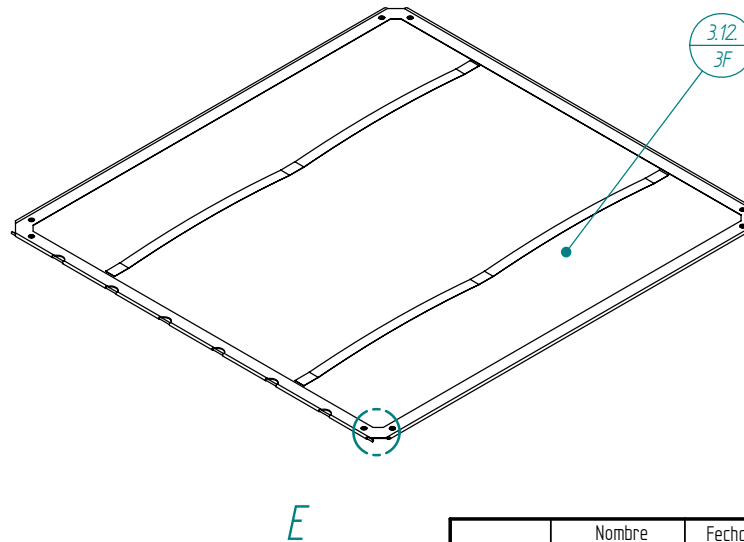
DETALLE C

DETALLE D



ESCALA 1 : 2

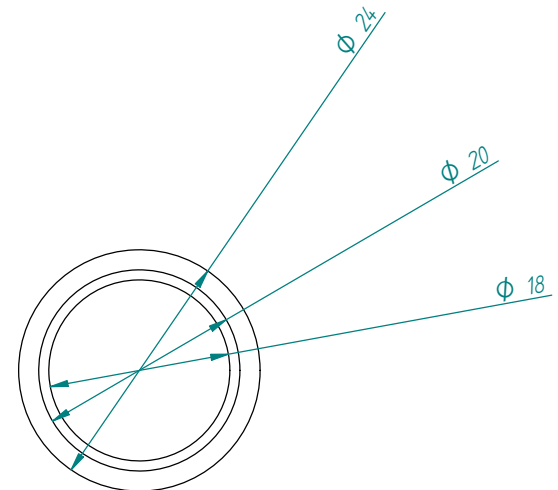
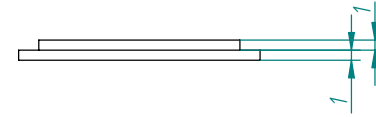
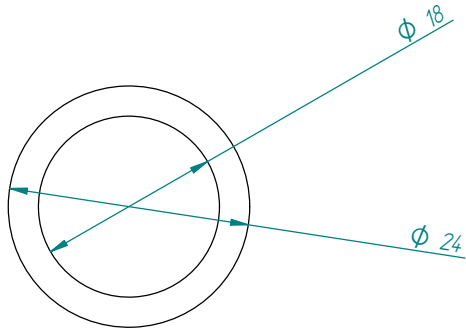
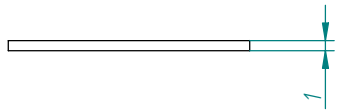
DETALLE E



E

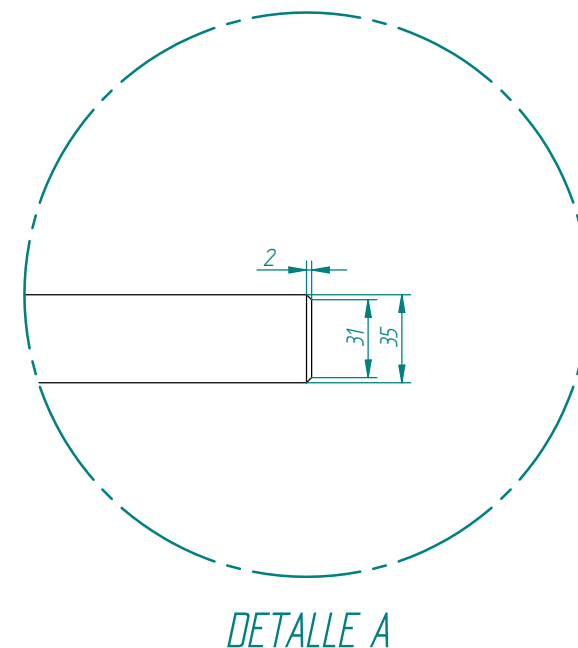
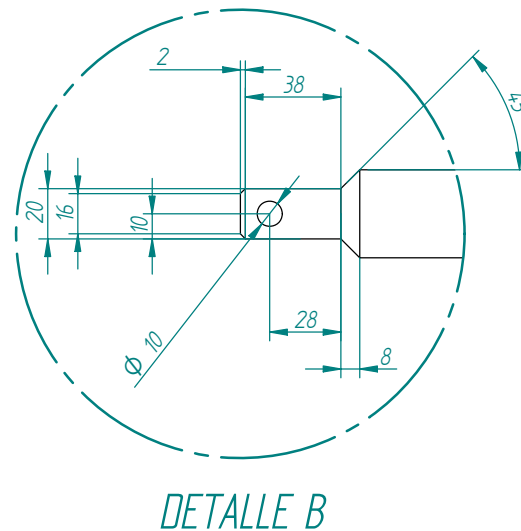
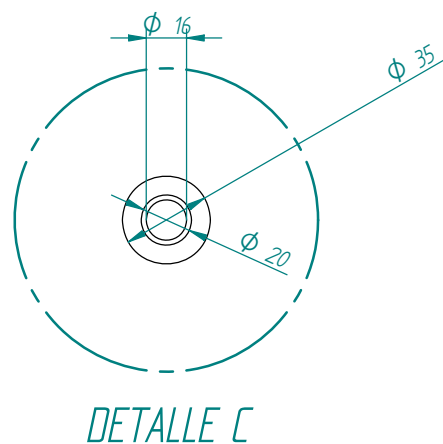
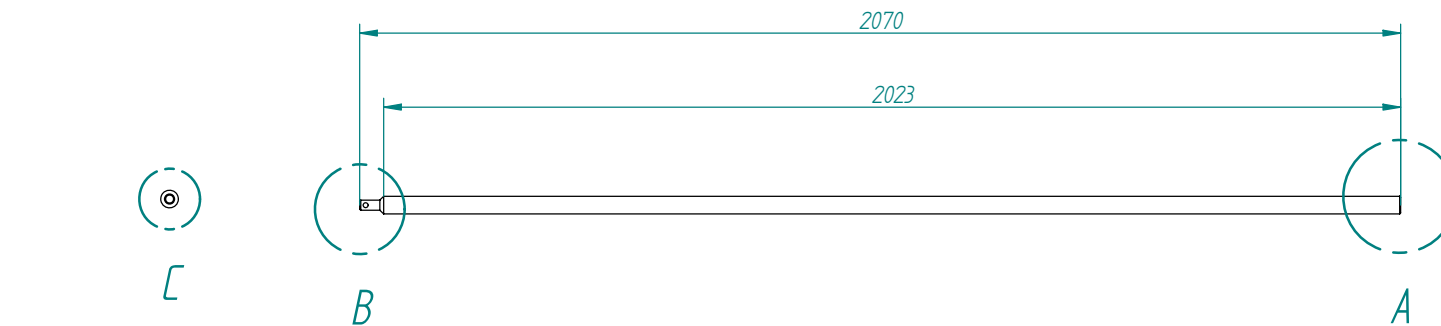
Listado de piezas				
Nº de pieza	Designacion	Cantidad	Material	Observaciones
3.1.	Argolla	19	Aluminio 6063-T6	-
3.2.	Argolla Complemento	3	Aluminio 6063-T6	-
3.3.	Sable 1	1	Fibra Carbono	-
3.4.	Sable 2	1	Fibra Carbono	-
3.5.	Sable 3	1	Fibra Carbono	-
3.6.	Sable 4	1	Fibra Carbono	-
3.7.	Sable 5	1	Fibra Carbono	-
3.8.	Sable 6	1	Fibra Carbono	-
3.9.	Sable 7	1	Fibra Carbono	-
3.10.	Vela	1	Kevlar	-
3.11.	Marco Trampolin	1	Cuero	-
3.12.	Malla Trampolin	1	Polipropileno	-
3.13.	Barra	1	Fibra carbono	-
3.14.	Botavara	1	Fibra Carbono	-
3.15.	Bracket	1	Aluminio 6063-T6	-
3.16.	Pasador	1	Aluminio 6063-T6	-

	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06		
Revisado	José L. Fuenzalida	21/04/06		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3	Subconjunto 3: Vela - Botavara - Trampolin
			Escala 1 : 20	A3 Hoja 15 de 31



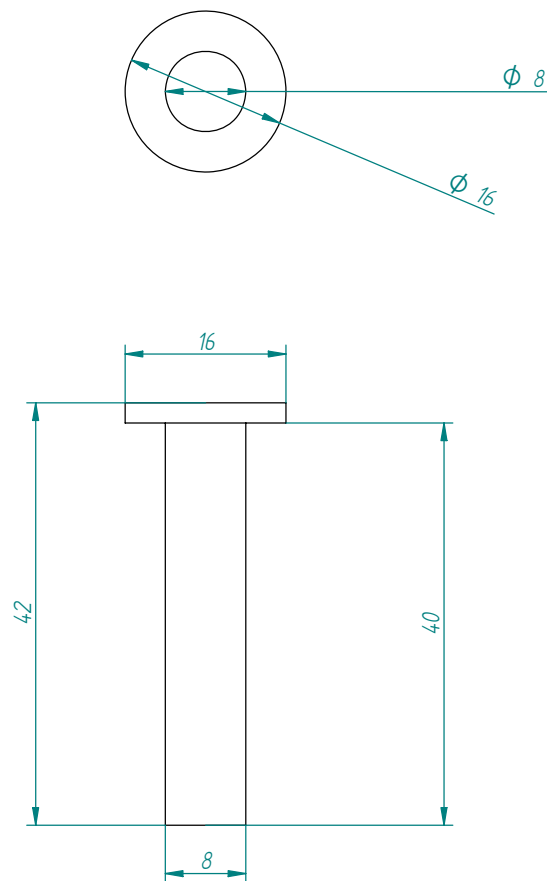
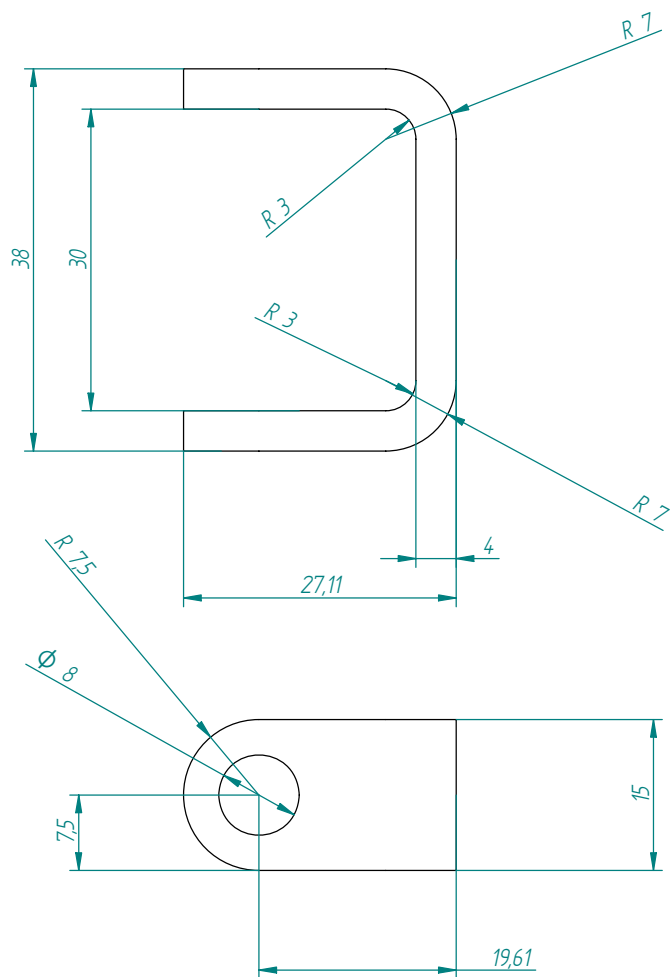
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José L. Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3A	Despiece Subconjunto 3: Argollas	
			Escala 2:1	A3	Hoja 16 de 25



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

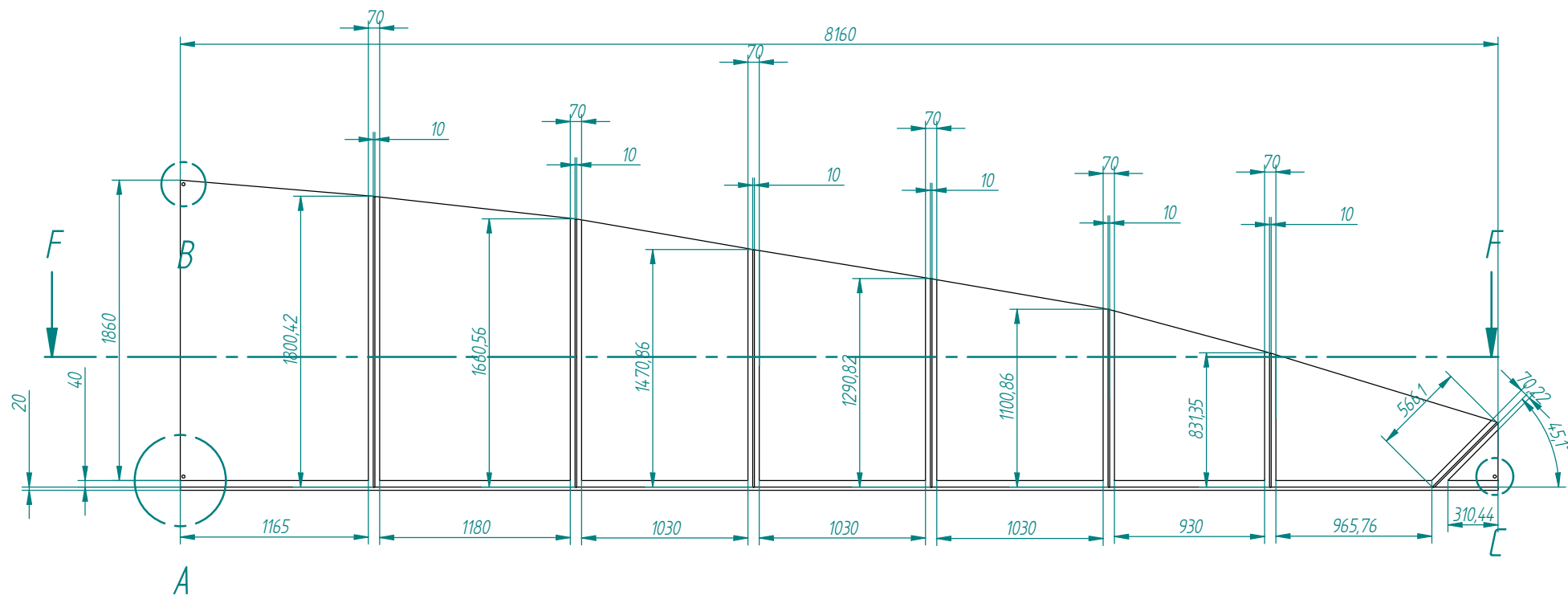
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José L. Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3B	Despiece Subconjunto 3: Botavara	
			Escala 1 : 10	A3	Hoja 17 de 31



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

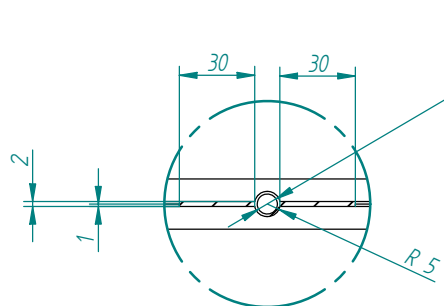
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José L. Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3C	Despiece Subconjunto 3: Bracket - Pasador	
			Escala 2:1	A3	Hoja 18 de 31



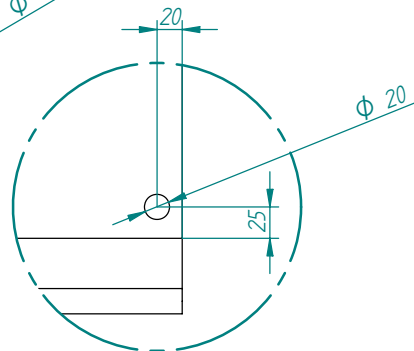


G

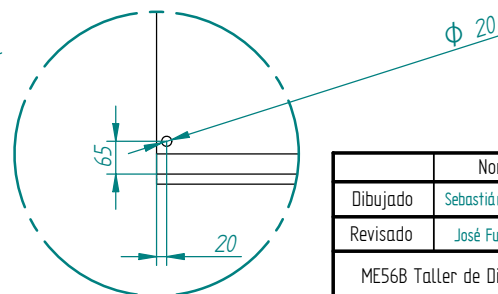
CORTE F-F



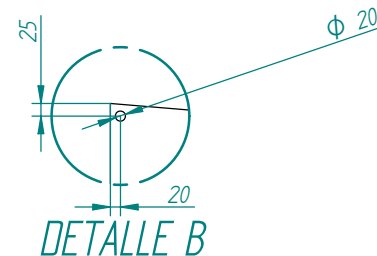
DETALLE G



DETALLE C

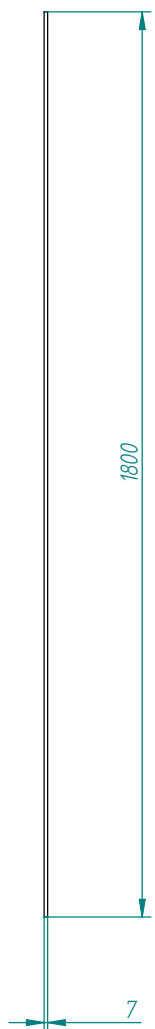


DETALLE A

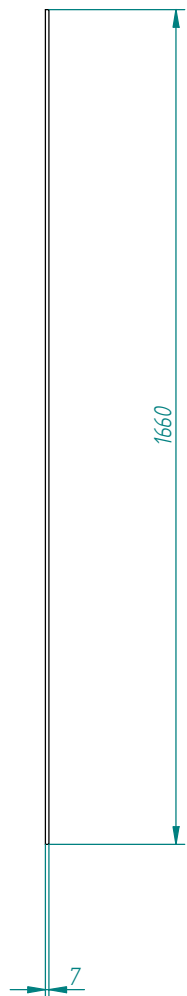


DETALLE B

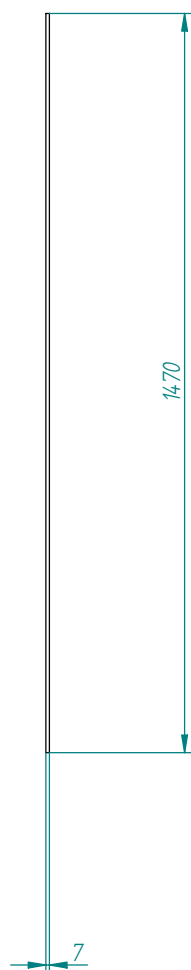
	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06	ME56B Taller de Diseño - Grupo 2		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
			Plano 3D	Despiece Subconjunto 3: Vela	
			Escala 1: 25	A3	Hoja 18 de 31



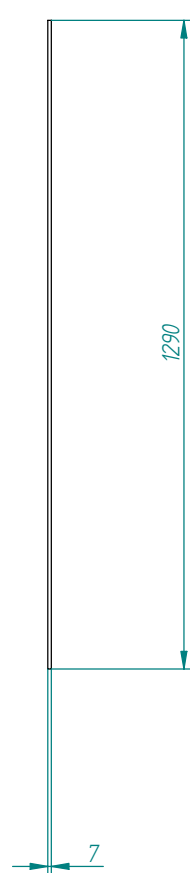
Sable 1



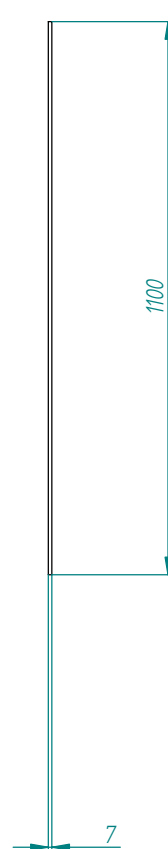
Sable 2



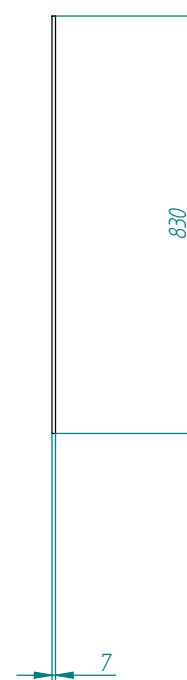
Sable 3



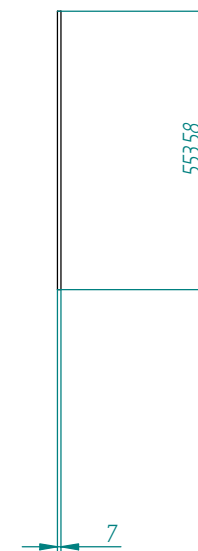
Sable 4



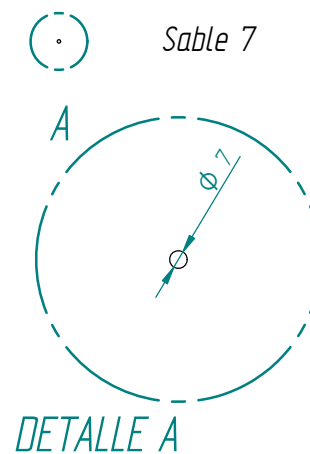
Sable 5



Sable 6

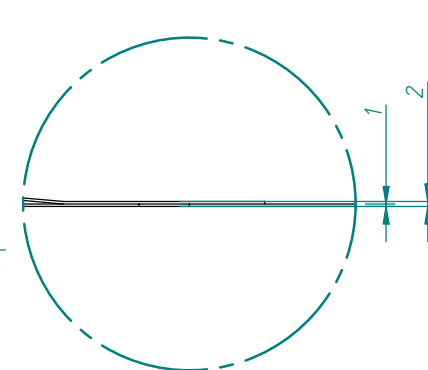
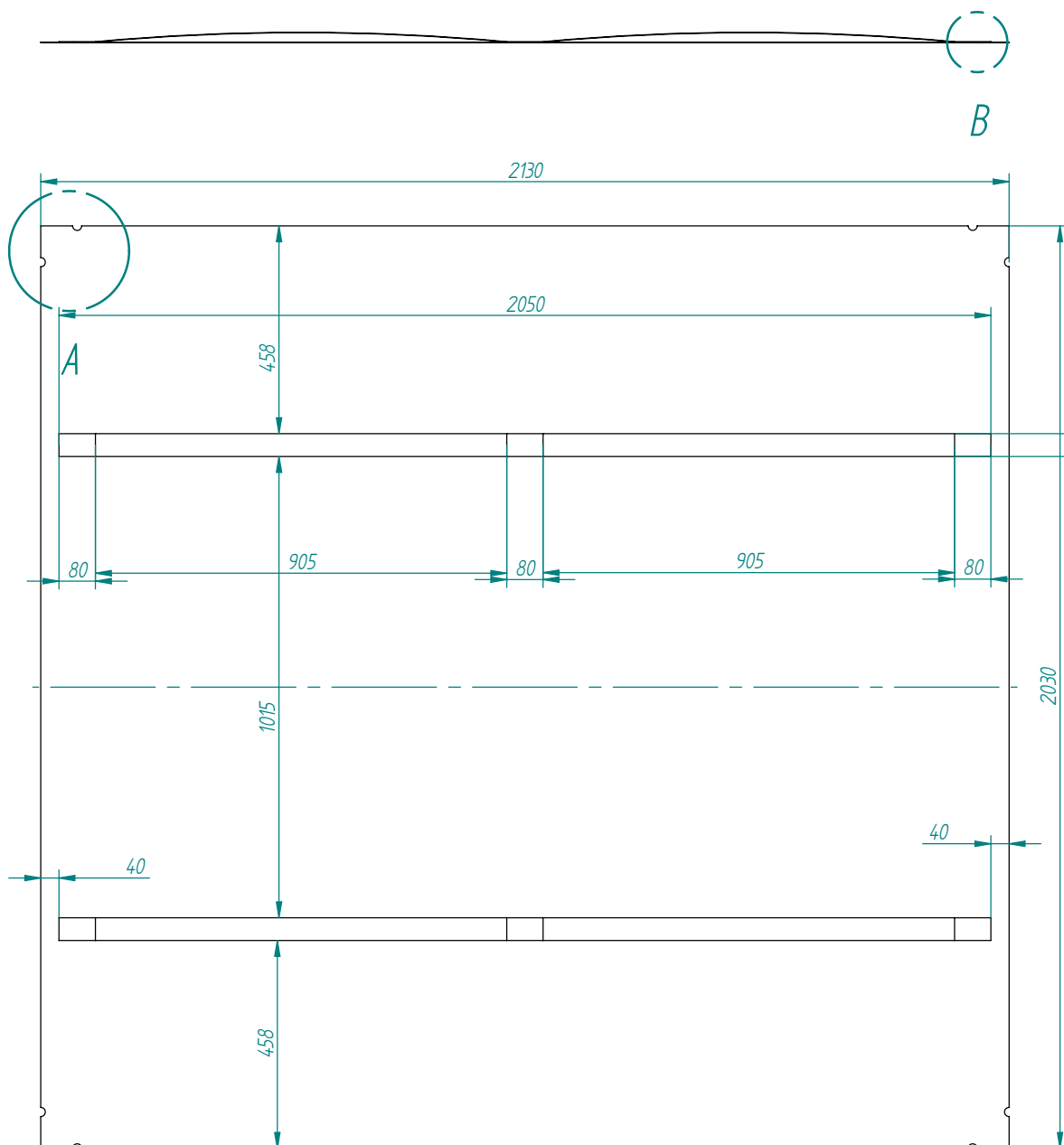


Sable 7

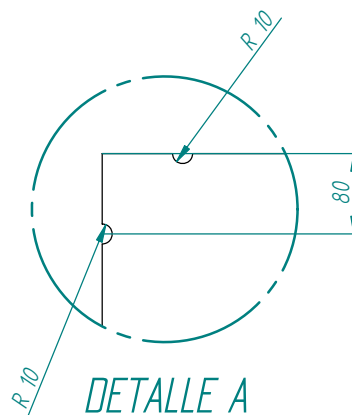


	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José L. Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3E	Despiece Subconjunto 3: Sables	
			Escala 1 : 10	A3	Hoja 20 de 31

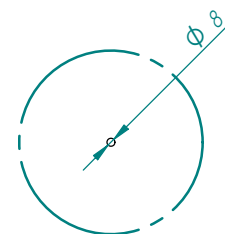
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



DETALLE B



DETALLE A

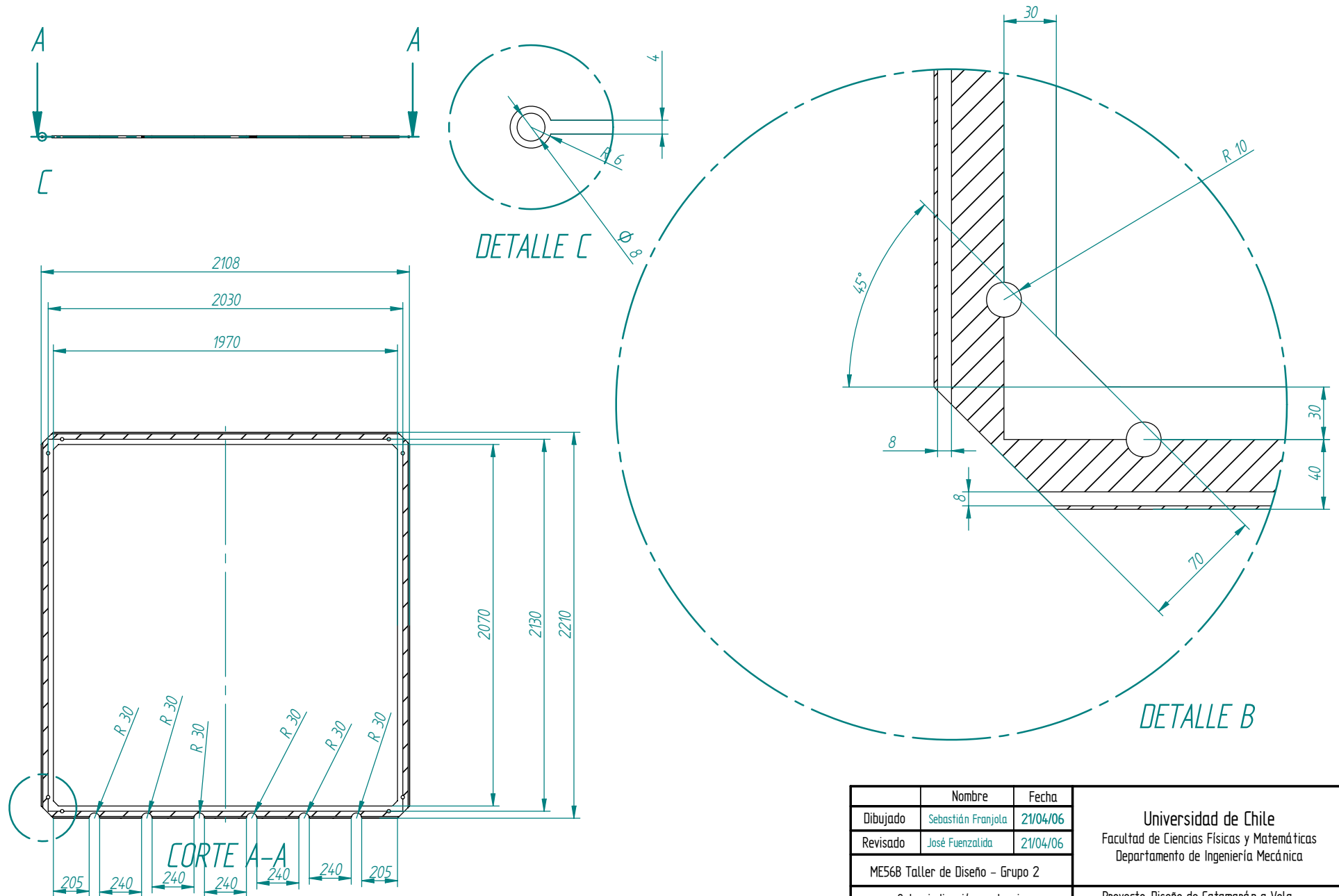


DETALLE C



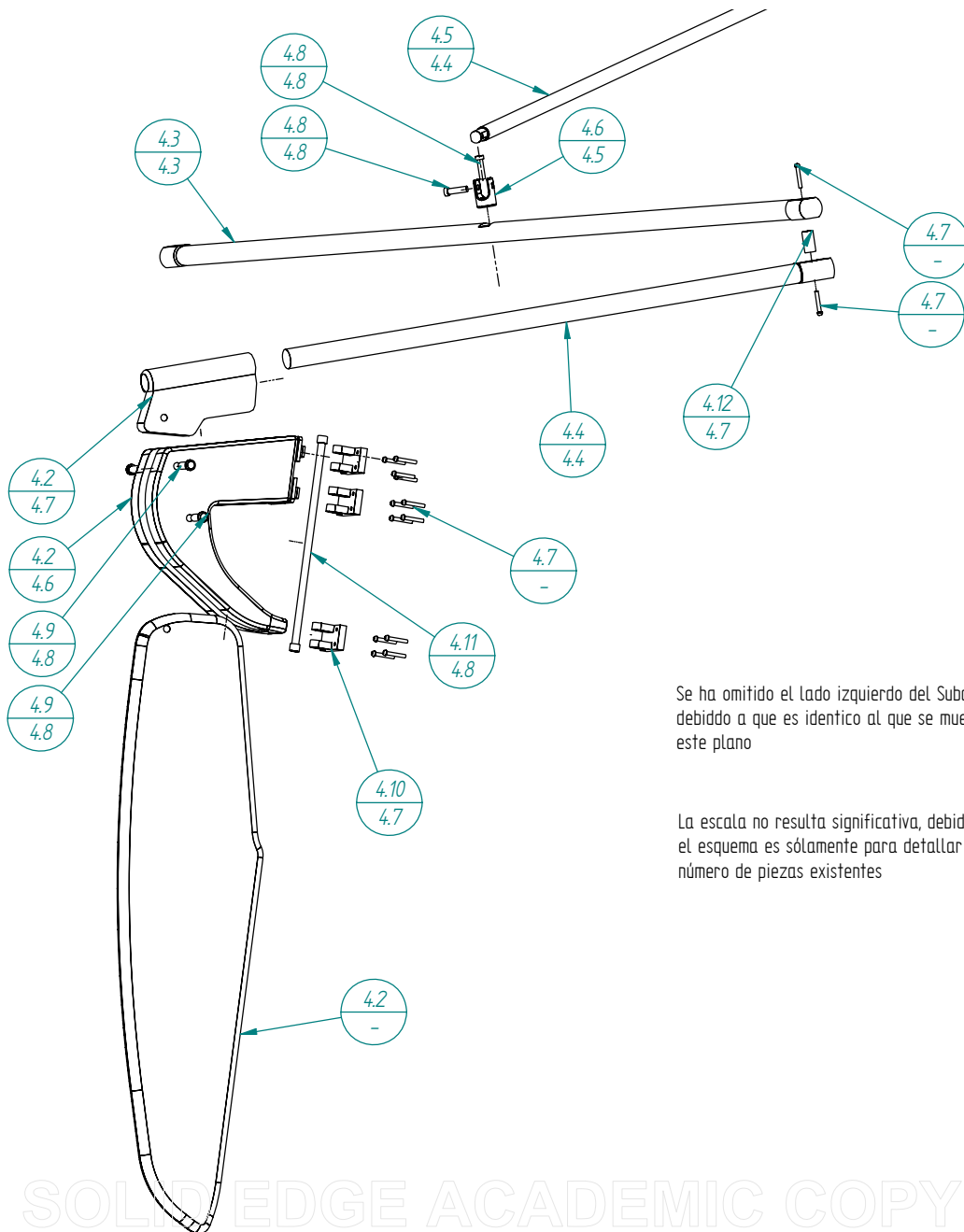
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José L. Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3F	Despiece Subconjunto 3: Malla - Barra	
			Escala 1 : 10	A3	Hoja 21 de 31

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	Sebastián Franjola	21/04/06			
Revisado	José Fuenzalida	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 3G	Despiece Subconjunto 3: Marco Trampolín	
			Escala 1 : 20	A3	Hoja 22 de 31

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

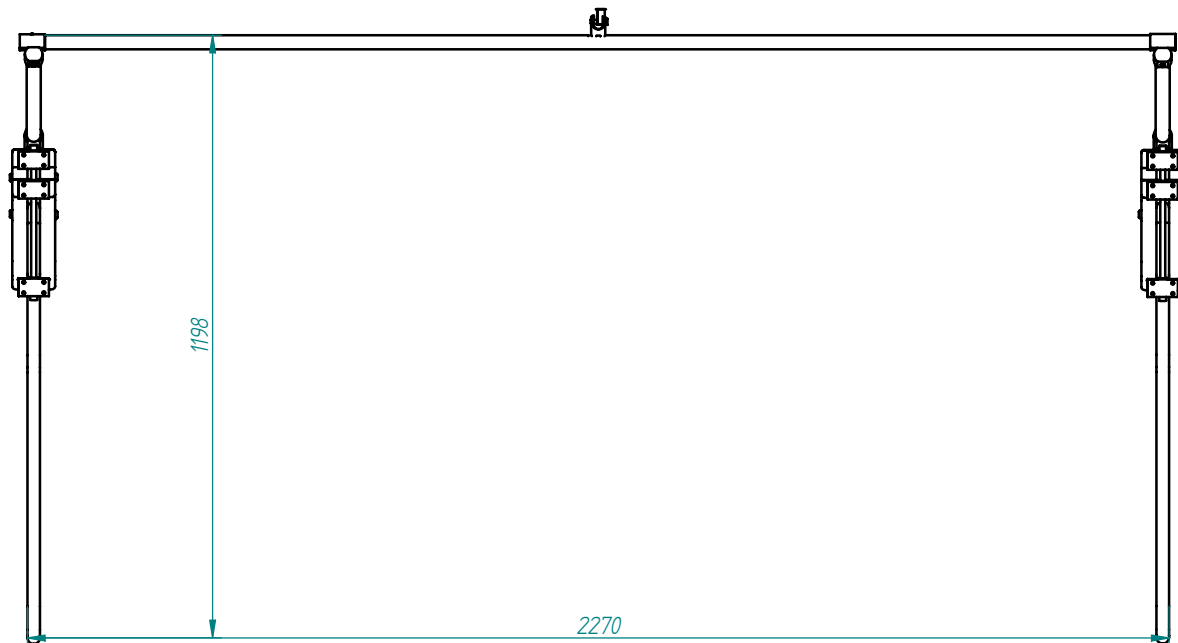


Se ha omitido el lado izquierdo del Subconjunto, debido a que es idéntico al que se muestra en este plano

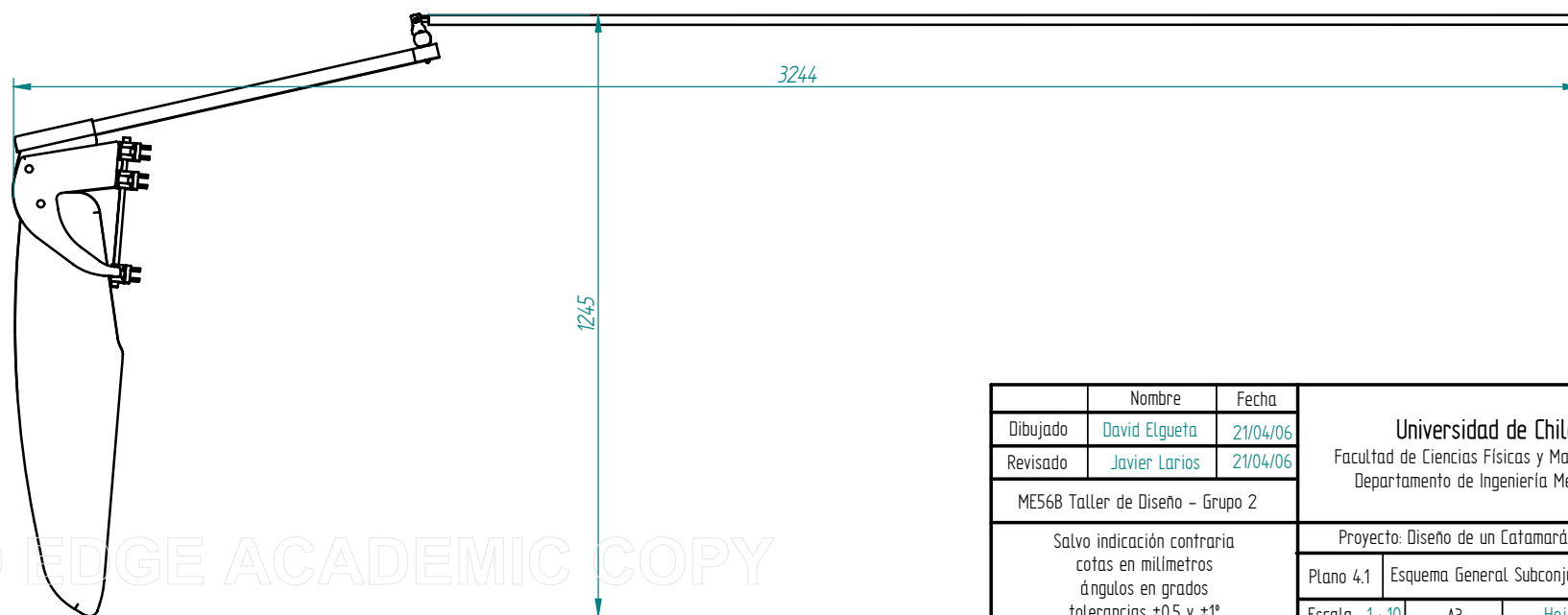
La escala no resulta significativa, debido a que el esquema es solamente para detallar el número de piezas existentes

Listado de Piezas				
Nº	Designación	Cantidad	Material	Observaciones
4.1	Paleta	2	Fibra de carbono	
4.2	Mecanismo paleta	2	Fibra de carbono	Comprado
4.3	Barra Transversal	1	Fibra de carbono	
4.4	Barra al mecanismo	2	Fibra de carbono	
4.5	Barra control	1	Fibra de carbono	
4.6	Mecanismo barras	1	Fibra de carbono	
4.7	Perno M5	28	Acero inoxidable	
4.8	Pasador chico	2	Acero inoxidable	
4.9	Remache	8	Acero inoxidable	
4.10	Pieza sujeción	6	Acero inoxidable	
4.11	Pasador paleta	1	Acero inoxidable	
4.12	Pivote barras	2	Acero inoxidable	

	Nombre	Fecha	<div>Universidad de Chile</div> <div>Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas</div> <div>Departamento de Ingeniería Mecánica</div>		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño – Grupo 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
			Plano 4.0	Vista Explosionada Subconjunto Timón	
			Escala –	A3	Hoja 23 de 31

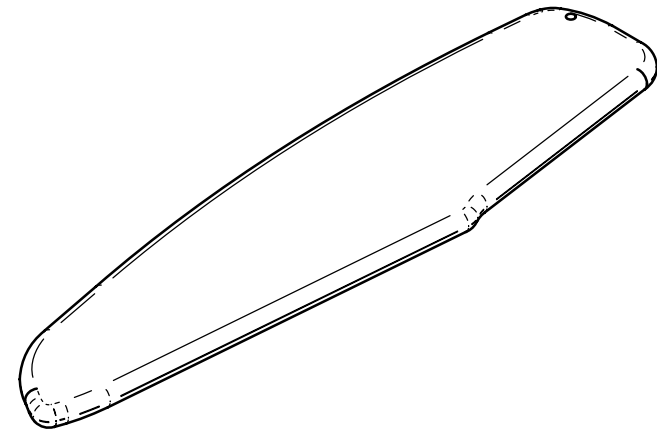
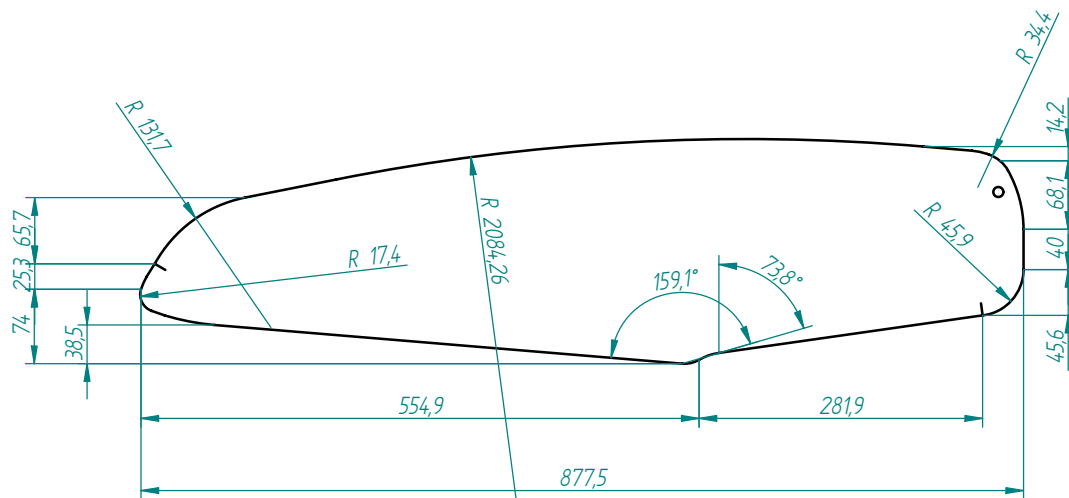
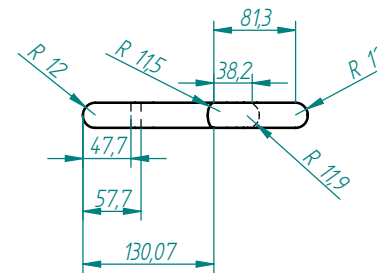
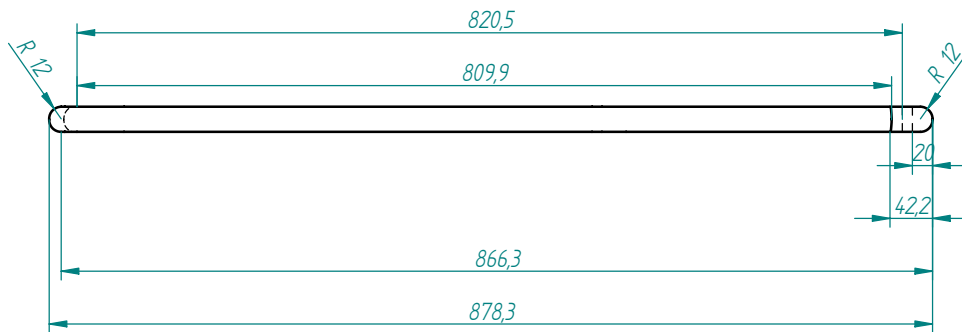


*Vistas y Dimensiones  
Generales*



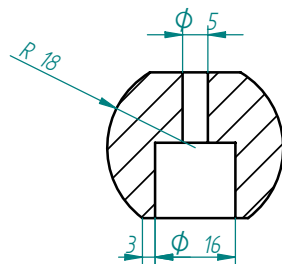
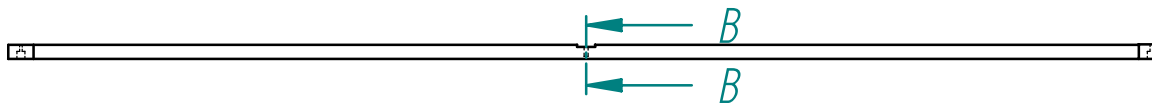
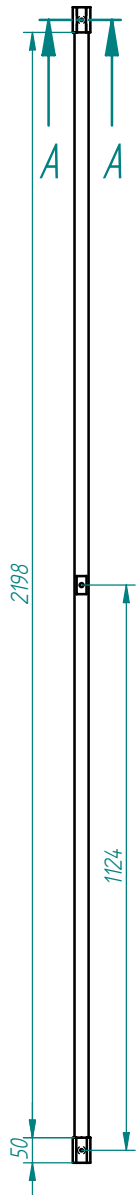
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de un Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 4.1	Esquema General Subconjunto Timón	
			Escala 1 : 10	A3	Hoja 24 de 31

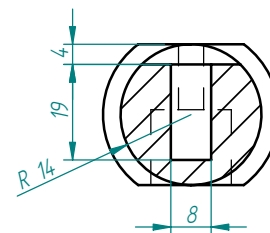


	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de un Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 4.2	Paletas	
			Escala 1:5	A3	Hoja 25 de 31

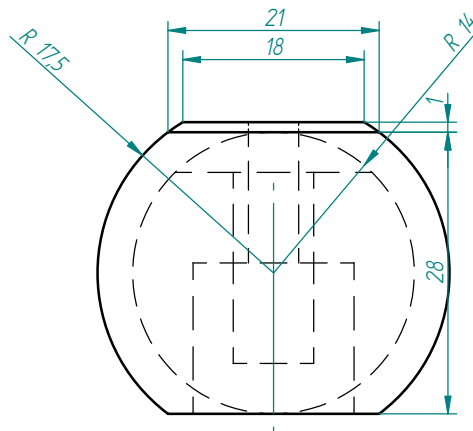
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



CORTE A-A



CORTE B-B

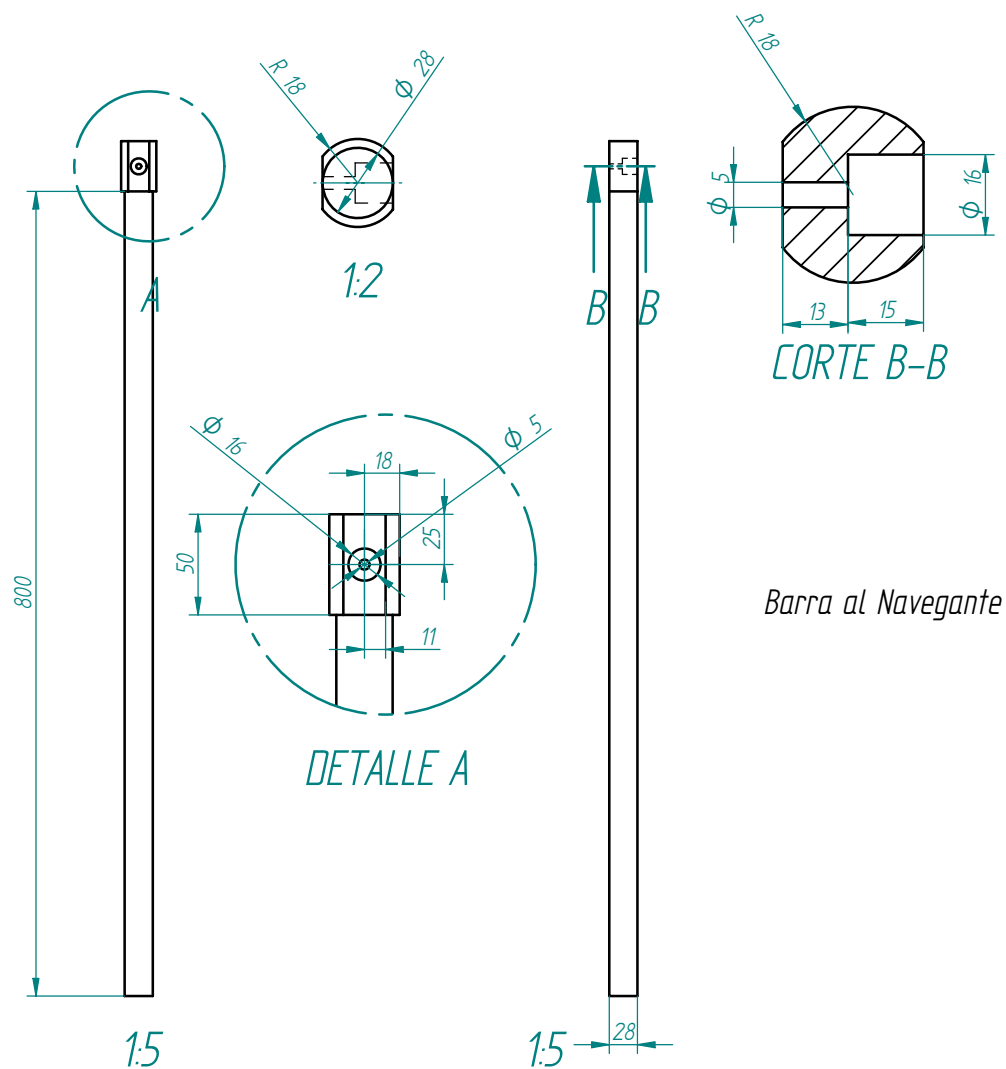
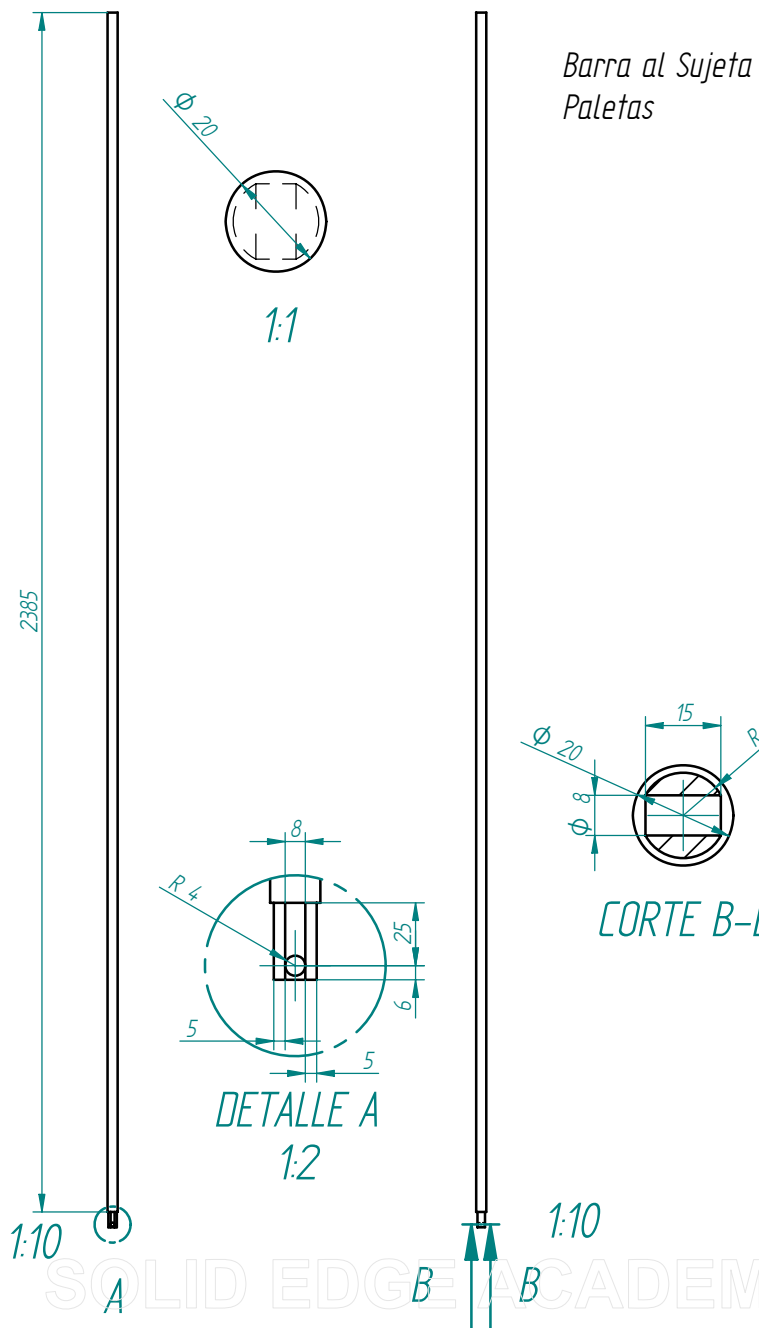


2:1

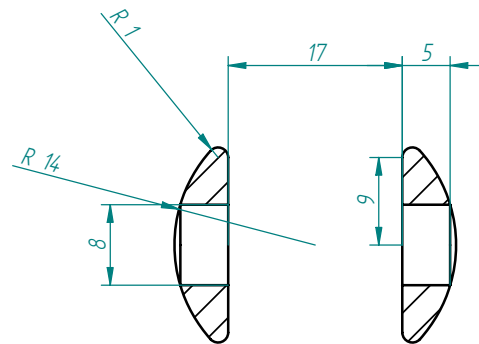
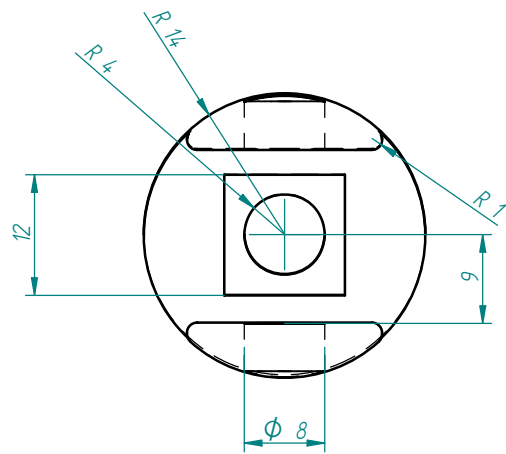
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06	ME56B Taller de Diseño - Grupo 2		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
			Plano 4.3	Barra Transversal	
			Escala 1:10	A3	Hoja 26 de 31

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

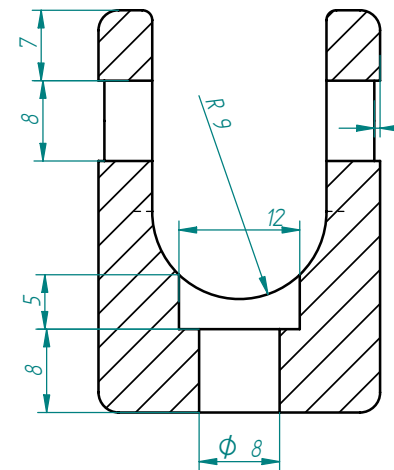




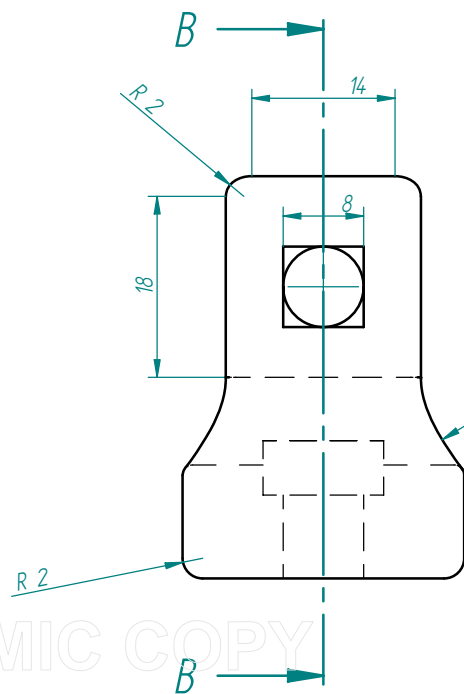
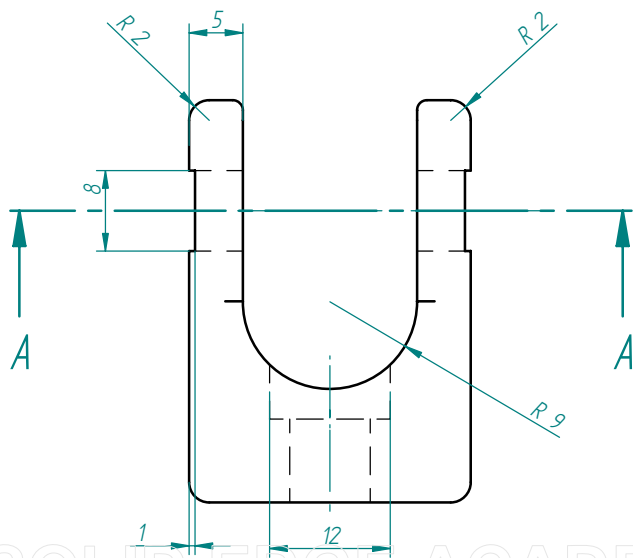
Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta			
Revisado	Javier Larios			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2		Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Plano 4.4	Barras al Sujeta Paletas y al navegante	
		Escala	A3	Hoja 27 de 31



CORTE A-A

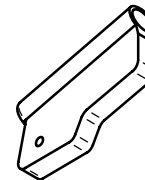
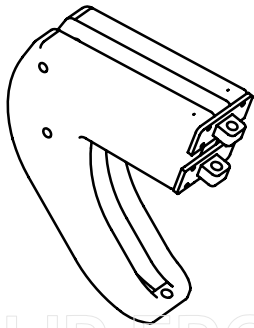
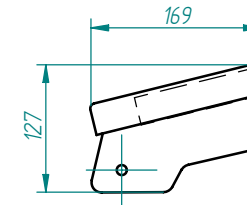
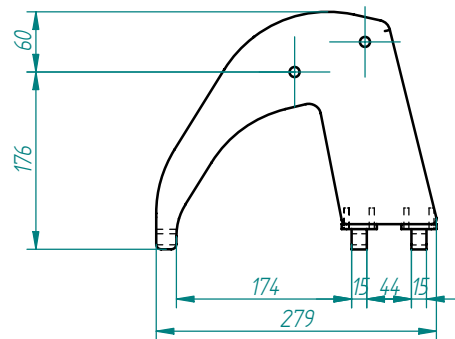
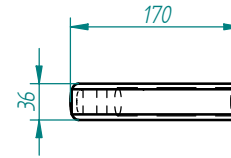
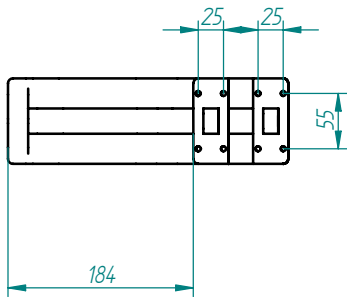


CORTE B-B



	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06	Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Plano 4.5	Pivote entre Barras	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Escala 2:1	A3	Hoja 28 de 31

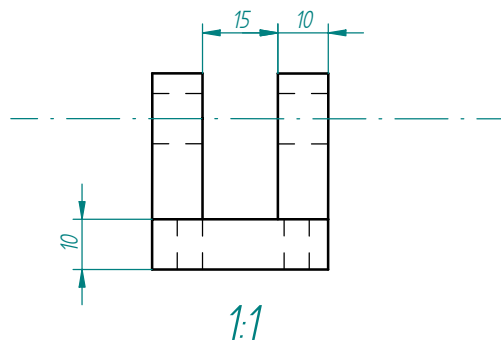
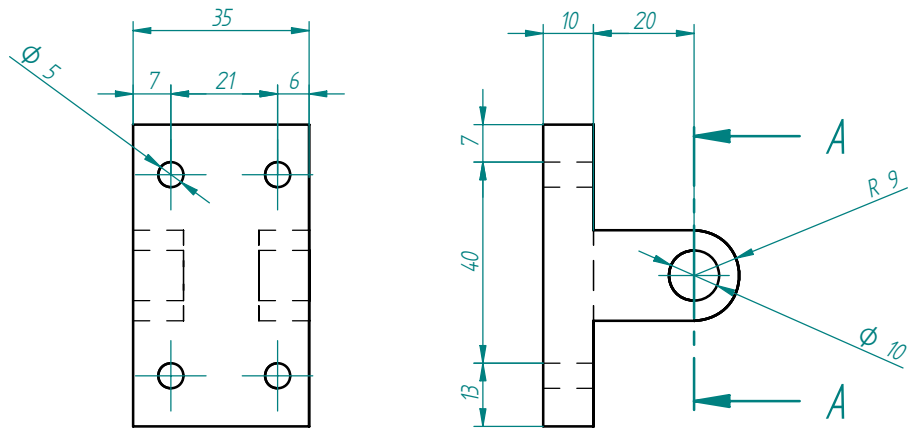
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



*Este mecanismo se encuentra disponible  
en [www.dotan.com](http://www.dotan.com). y corresponde a:  
Blade 1, Profile NACA*

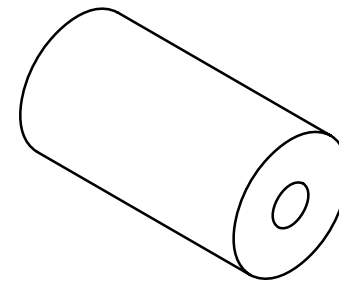
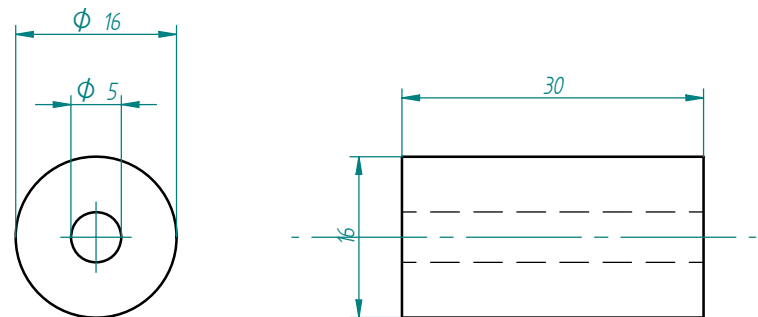
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06	Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Plano 4.6 Mecanismo Paletas (comprado)		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Escala 1:5	A3	Hoja 29 de 31



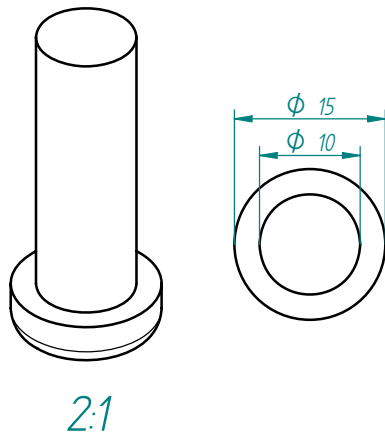
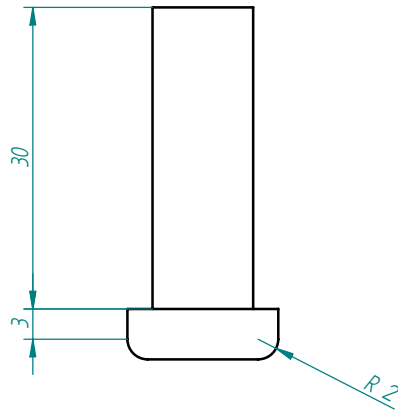
*Pieza Sujetadora  
a Paletas*

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

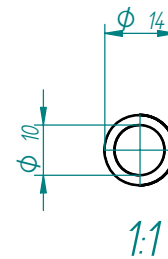
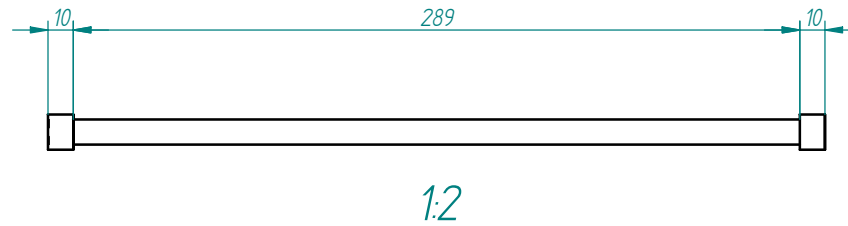


*2:1 Pivote entre Barras*

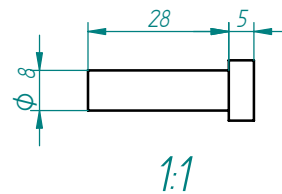
	Nombre	Fecha	<b>Universidad de Chile</b> Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06			
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Plano 4.7	Pieza Sujetadora y Pivote	
			Escala	A3	Hoja 30 de 31



Remache para sujeción  
Paleta al Mecanismo Paleta



Pasador para el movimiento  
Horizontal de las Paletas



Pasador  
Chico



	Nombre	Fecha	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	David Elgueta	21/04/06			
Revisado	Javier Larios	21/04/06	Proyecto: Diseño de Catamarán a Vela		
ME56B Taller de Diseño - Grupo 2			Plano 4.8	Pasadores usados en el conjunto	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Escala	A3	Hoja 31 de 31