



**TESIS DE GRADO  
EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**“En búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de  
Wakeboard”**

**Autor: Ezequiel Poodts  
Legajo 44193**

**Tutor: Dr. Ing. Anibal Cofone**

**2009**



## Resumen:

---

El siguiente trabajo se encuadra como tesis de grado de ingeniería industrial. El tema es el de búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard. En la primera parte se introduce al lector al marco de trabajo, cuenta la historia del deporte e introduce las variables con las que los diseñadores de tablas trabajan hoy en día. Luego se hace un análisis del mercado en la búsqueda de un nicho no satisfecho en donde se puede introducir un nuevo producto. Se hace una presentación de propuestas de diseño, se selecciona una y se fabrica un prototipo con el que se realizan pruebas.

Por último y en la búsqueda de avanzar en el proceso de diseño se incluye un estudio en donde se buscan mejoras para las tablas actuales, con especial foco en los materiales de la misma.



# Abstract:

---

The following is an industrial engineering grade thesis. The subject is the search of innovations in Wakeboard's design. The work begins with an introduction to the reader to the framework; followed by the history of the sport and the variables with which the producers work in the present to develop new boards. The work continues with a market analysis searching for a target-group not satisfied by the actual board designs and their needs. The needs are translated into possible board designs, one of this is chosen to develop a working prototype on which we can make tests and obtain conclusions.

The work is finished with the search of innovations in the present boards, making focus on the materials of the product. The idea of this part is to advance in another part of the design process.



## Agradecimientos:

---

El autor quiere agradecer a toda la gente involucrada en este trabajo. Especialmente a la gente del ITBA, a Cutun Martin de Neptune Wakeboards, a Pipo Grosso de GrossORG, a Giangiacomo Minak y Daniel Ghelli de la Universidad de Bologna. A la gente de Carmas, a Pablo Santarsiero de KingMarine, a Aquiles Pirovano de JWT, a los diseñadores industriales de Ga.Ma. y a todos los que prestaron su trabajo, conocimientos y paciencia. Muchas Gracias.



# Índice

---

Resumen: .....	3
Abstract: .....	5
Agradecimientos:.....	7
Índice .....	9
I.- Introducción .....	11
II.- Primera parte. Deportes de Tabla .....	15
2.1 El origen de los deportes de tabla: el Surf .....	15
2.1.1 La constante evolución de los deportes “de tabla” .....	16
2.2 La historia del wakeboard: nacimiento y evolución .....	21
III.- Segunda parte. La construcción actual de las tablas.....	25
3.1 Las formas de la tabla .....	25
3.2 Los materiales de la tabla .....	27
3.2.1 La estructura sándwich .....	28
3.2.1.1 Rigidez a la flexión .....	29
3.2.1.2 Cálculo de esfuerzos.....	30
IV.- Tercera parte: La búsqueda del concepto.....	35
4.1 El paralelismo entre el Snowboard y el Wakeboard.....	35
4.2 Análisis de encuesta.....	36
4.3 Presentación de conceptos:.....	39
V.- Cuarta parte. Selección y realización de conceptos.....	43
5.1- FlexBoard .....	45
5.1.1 Primera prueba:.....	45
5.1.2 Segunda prueba:.....	45
5.1.3 Tercera prueba - Realización de prototipo:.....	46
5.1.4 Ensayos y resultados:.....	48
5.1.5 Conclusiones: .....	49
5.2.- Innovación sobre las tablas actuales .....	51
5.2.1 Introducción.....	51
5.2.2 Análisis de falla .....	52
5.2.3 Reproducción de la falla en el laboratorio.....	53
5.2.4 Modelo analítico .....	54

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

5.2.5 Modelo experimental .....	59
5.2.5.1 Resultados:.....	61
5.2.6 Selección de materiales .....	63
5.2.6.1 Detalles de ensayos: .....	67
5.2.7 Conclusiones .....	73
VI.- Conclusiones.....	75
VII.- Influencias y Bibliografía .....	77

# I.- Introducción

El presente trabajo tiene por objetivo la aplicación y uso de un proceso de diseño del producto aplicado a tablas de Wakeboard. El Wakeboard es un deporte que se practica con una tabla fijada a los pies, con la propulsión de una lancha a través de una soga con un manillar. Deriva del esquí acuático y el surf, con influencias del Skate y del Snowboard.

El proceso de diseño que se sigue está basado en el que Ulrich y Eppinger presentan en su libro “Diseño y desarrollo de productos” y está influenciado por el método que se enseña en la clase de la materia Diseño del producto (DP). La materia forma parte del programa de Ingeniería Industrial del ITBA y la metodología se encuentra plasmado en la “Guía ToPoPo”.

El trabajo se ha dividido en cuatro partes. En la primera se presenta el deporte del Wakeboard en el contexto de los deportes en donde se utiliza una tabla y se introduce al lector en el ámbito de trabajo. Se presenta la historia, la evolución y las ramificaciones estos deportes. En la segunda parte se presentan las variables de diseño con las que los actuales fabricantes de tablas trabajan para producir nuevos productos, en especial las variables relacionadas a las formas, los materiales y la estructura de las tablas. La tercera parte trata la búsqueda de conceptos, se trata de identificar oportunidades a través de encuestas que reflejan las necesidades de los clientes y la búsqueda de ideas mirando la evolución de disciplinas cercanas. La sección finaliza con la presentación de alternativas para cumplir con lo se entiende que el mercado necesita. La última parte comienza con la selección de una de las alternativas presentadas en la sección anterior, su realización y estudio a través de la fabricación de un prototipo funcional con el que se realizan ensayos de campo. La investigación en la innovación en diseño presentada podría ser continuada en futuros trabajos. Con la intención de trabajar en una etapa sucesiva del diseño del producto se realiza un estudio en la búsqueda de innovaciones aplicables a las tablas actuales. El proceso de diseño en este último objetivo se ve facilitado a través de la conexión con una empresa fabricante de tablas de Argentina, con la que se busca mejorar en peso uno de los modelos haciendo hincapié en materiales. Este estudio es presentado al final de la última etapa. La figura que sigue muestra el proceso seguido en la primera parte del trabajo:

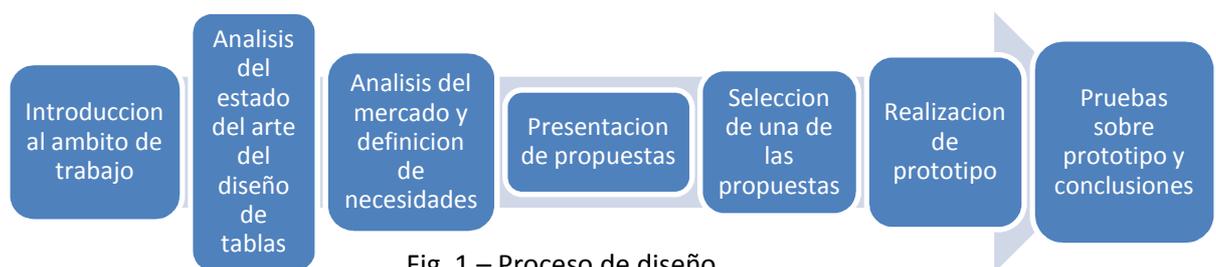


Fig. 1 – Proceso de diseño

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

### ¿Por qué un producto como es la tabla de Wakeboard?

La decisión de trabajar sobre este producto se dio a partir de la conjunción de varios factores. Se había elegido realizar una tesis aplicando una metodología de diseño del producto, y la posibilidad de centrarse en algo del gusto del autor era atractivo. Además la estructura de la tabla de Wakeboard es un buen objeto de estudio en el sentido que nos permite trabajar en varios aspectos de la ingeniería como puede ser su proceso de fabricación, el diseño morfológico o el diseño de los materiales por ejemplo. Esto se sumaba a que no existían trabajos previos en el ámbito. Existen trabajos acerca de los productos usados en muchos deportes pero no existe un trabajo científico publicado que estudie a la tabla de Wakeboard. Esto pasa porque se trata de un deporte nuevo, practicado por un volumen de gente relativamente chico, pero que está en crecimiento.

El resultado, especialmente el de la segunda parte en donde se buscan innovaciones para las tablas actuales, ha sido interesante no sólo para la empresa que produce las tablas. Las probetas de estudio y las tablas prototipo habían sido realizadas en Buenos Aires, pero los ensayos y análisis de los mismos se han llevado a cabo en la facultad de Bologna, Italia. Este estudio se ha presentado en la edición número ocho del “Congreso de Jóvenes acerca de Mecánica Experimental en Sólidos” (YSESM por sus siglas en inglés), realizado en mayo de 2009 en Hungría. La foto que sigue fue tomada durante la ponencia en el congreso. Además ha recibido interés periodístico, y en ese sentido, el artículo que se muestra a continuación ha sido publicado el día 7 de junio de 2009 en el suplemento iECO del diario Clarín.



## CUMIAUDE

### EZEQUIEL POODTS ITBA

■ ¿Cómo se combinan el wakeboard (un deporte parecido al esquí acuático, pero en tabla) y una tesis de ingeniería? La respuesta la tiene Ezequiel Poodts (24 años), residente del ITBA a punto de recibirse de ingeniero industrial que se encuentra desarrollando innovaciones en el diseño de las tablas de wakeboard en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Bologna [Italia]. Allí llegó de la mano de su tatar, Arnal Cufre, y asistido a una firma productora de tablas local, Neptune Wakeboards.

■ "Asociarse con una pyme para hacer la tesis es un modelo italiano", cuenta Ezequiel. "Generalmente estas empresas no tienen tiempo para hacer nuevos desarrollos porque están focalizadas en el trabajo cotidiano. El trato es que el estudiante desarrolle



alguna idea nueva que le pueda ser útil", explica. En su caso, la empresa cofinancia la investigación con tablas.

■ La tesis de Ezequiel se concentra en la modelización de la física involucrada en las tablas, para medir las deformaciones, entre otras cosas. "Además, testeamos distintas combinaciones de materiales que podrían ser utilizados en nuevas tablas", señala. Así se genera información acerca de materiales compuestos, "una rama que está creciendo a nivel mundial".



## II.- Primera parte. Deportes de Tabla

---

### 2.1 El origen de los deportes de tabla: el Surf

El surf ha sido el primer deporte en la historia que se practica sobre una tabla. Esta actividad tiene una historia de más de 500 años. Era practicado por los indígenas que habitaban las islas de la polinesia y fue revelado a los europeos por primera vez en 1779, durante la tercera expedición de James Cook y su tripulación por el pacífico.



Fig. 2 – Representación artística del surf por los nativos de Hawaii.  
Cortesía: Hawai'i State Archive

En esa época el surf era mucho más que un deporte; era una parte central de la cultura de los nativos de la polinesia. Para ejemplificar su significado para estas comunidades: el cacique era el mejor surfista de la zona, tenía además la mejor tabla, hecha con el mejor árbol. Las clases reinantes se apropiaban de las playas con las mejores olas y el deporte formaba parte de la religión.

La mística que el surf despertaba en los indígenas estaba justificada en sensaciones increíbles. Pero hubo que esperar hasta principios del siglo XX para que el surf crezca a nivel mundial hasta convertirse en el deporte popular que es hoy. El crecimiento inicial se concentro en Hawaii, California y Australia. Es en la ciudad de California que a finales de los 50's nace el primero de los deportes derivados del surf: el Skateboard. El Surf y el Skate coinciden en que se necesita una tabla para su práctica, esta es una característica común a toda una serie de deportes que continúan surgiendo. A mediados de los 60's aparece en escena el Snurfer, que luego dará origen al Snowboard, a principios de los 80's aparece el Skurfer, predecesor del Wakeboard. También en los 80's nace el Skysurfing: surf en el cielo, una de las disciplinas del paracaidismo.

El concepto inicial del Skateboard quizás haya sido llevar la sensación del surf a las calles, pero el resultado es un deporte nuevo con características particulares muy atractivas. Lo mismo se podría decir del snowboard aunque en este caso hay que agregar al Skateboard como deportes influyentes. En el caso del Wakeboard se toman aspectos de los tres deportes anteriores. Entonces tenemos un escenario en donde cualquiera de los deportes ya existentes influye en los surgentes. Es interesante que

esta evolución no finaliza con la conquista de los ámbitos terrestres. Hasta ahora hemos mencionado:

- ✓ El surf en el mar
- ✓ El Wakeboard en aguas calmas como ríos o lagos
- ✓ El Skateboard en el suelo
- ✓ El Snowboard en la nieve
- ✓ El Skyboard en el aire

Veamos algunos ejemplos de otros derivados de esta familia de actividades. En todos los casos el concepto inicial será lograr un nuevo deporte, que tome aspectos de uno o varios de los anteriores en pos de causar una nueva sensación. Para lograr esto siempre se debe trabajar en el diseño de un producto que será central en la nueva actividad: la tabla.

### 2.1.1 La constante evolución de los deportes “de tabla”.

Como ya se había mencionado, del surf derivan cuatro deportes.

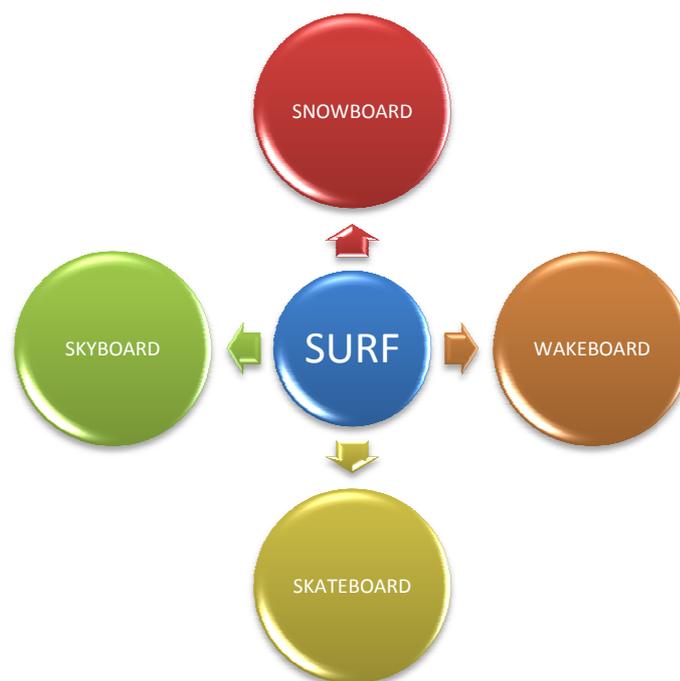


Fig. 3 – Primeros deportes derivados del surf

Estas cuatro nuevas actividades no son el final de la cadena de evolución, todo lo contrario: se convierten en nuevos ingredientes para dar lugar a nuevas actividades. Siguiendo con la metodología evolutiva, se podría tomar cualquiera de estas como influencias para el producto desarrollado en el presente trabajo.

Así podremos encontrarnos por ejemplo con el *Snowskate*, deporte que se practica sobre nieve con una tabla de dimensiones similares a las del Skate. Es fácil adivinar que se trata de la adaptación del Skate al terreno del snowboard, la nieve. En el Snowskate los pies se fijan sobre la tabla por fricción, a diferencia del snowboard. En las figuras 4 a y b podemos ver dos diseños distintos para la práctica de esta actividad.



Fig. 4 a y b. Snowskate con un solo deck, y Snowskate con doble deck, respectivamente.

Del Wakeboard y el Skate nace el primo del Snowskate: el *Wakeskate*. De construcción similar al Snowskate aunque más ancho, es la adaptación del Skate al ámbito del Wakeboard, el agua. Se practica con zapatillas, la superficie superior de la tabla es rugosa por lo que se aprovecha la fricción para inmovilizar los pies. En las figuras 5 y 6 podemos ver dos diseños de tablas análogos a los que mostramos en el ejemplo anterior.



Fig. 5 – Stephanie Wamsley sobre una tabla Liquid Force Maven con un deck. Cortesía LiquidForce.com



Fig. 6 – Para 2009 Ronix 2009 presenta el modelo Zariel con doble deck. Cortesía Ronix.

El *Freeboard* es parecido a una tabla de Skate, pero con seis ruedas en lugar de cuatro. El par extra se encuentra sobre el eje longitudinal, entre los ejes, una a cada

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

lado. Están en un plano levemente inferior al de las otras cuatro ruedas. Tienen la particularidad de poder girar cambiando su orientación y lo que se logra con esto es que durante las curvas se reorientan y se produce un movimiento de derrape, como el que se logra en el Snowboard. En este caso en lugar de ser los cantos los que friccionan transversalmente sobre la superficie (como sucede en el Snowboard), el efecto se da sobre las ruedas laterales. En esta tabla los pies se fijan por medio de arcos plásticos, además de por fricción. Los deportes que influyen en este producto son obviamente el Skate y el Snowboard.



Fig. 7 – Freeboard

El *Flowboard* y el *T-board* se construyen en la búsqueda de curvas suaves, el primero propone cambiar los ejes tradicionales de dos ruedas laterales por arcos con siete ruedas, el segundo propone una sola rueda un poco más ancha de lo normal que puede girar cambiando su orientación como las ruedas extras del Freeboard. Existe además otro tipo de tabla que ofrece curvas suaves: el *Carveboard*, a la que se le ha agregado amortiguación extra en los ejes y se le han cambiado las ruedas macizas de uretano por ruedas inflables.



Fig. 8 a, b y c – Flowboard, T-Board y Carveboard respectivamente

El *Streetboard* ha logrado diferenciarse del Skate agregando un movimiento que permite avanzar sin necesidad de una pendiente o de un impulso. Se trata de una tabla de Skate dividida en tres partes: dos platos pivotantes donde se apoyan los pies (generalmente se le agregan straps como fijaciones) y un plato central. Los ejes se mueven con los pies y realizando un movimiento parecido al de una serpiente se puede avanzar, aprovechando la fricción entre las ruedas y el piso.



Fig. 9 - Streetboard

Existen otros derivados del Skate con formas novedosas; como las *On-shore boards* o los *Mountainboards*. Otros productos se diferencian de los tradicionales por los materiales, por ejemplo las tablas *Loaded*, están fabricadas con madera de bamboo lo que le da una flexibilidad particular y lo convierte en un producto nuevo.

Pero dejando a la familia del Skate, y volviendo a los derivados del Wakeboard, tenemos dos deportes que aún no han sido mencionados.

El *Kiteboard*, en donde se cambia la fuerza propulsora de la lancha por la de un barrilete o vela. Las tablas de Kite suelen ser más simples en su construcción y más livianas que las de Wakeboard. Además usan fijaciones tipo straps, que son más fáciles de sacar y poner que las de Wakeboard.



Fig. 10 – Kiteboard

El segundo deporte derivado del Wakeboard que mencionaremos es el *Wakesurf*, en donde se aprovecha la ola de la lancha para hacer surf. Se puede usar una tabla de surf normal, pero hay marcas de Wake como Ronix que ofrecen productos especiales, tablas más anchas y con mayor flotabilidad.



Fig. 11 – Koal Surfboard es la tabla de Wakesurf que presenta Ronix para 2009

Como conclusión de la sección: parecería que la rama de deportes de tabla está completamente abierta a la creatividad, en donde existe un mercado dispuesto a probar toda idea que ofrezcan una nueva sensación. En este contexto se trabajara para desarrollar un nuevo producto, que como primera influencia tendrá obviamente al Wakeboard.

Hasta aquí hemos visto la historia y evolución de los deportes de tabla en general, en la próxima sección nos centraremos en el Wakeboard.

## 2.2 La historia del wakeboard: nacimiento y evolución

El Wakeboard, como ya se había mencionado, es uno de los derivados del surf. El Skurfing, deporte predecesor al Wakeboard, se practicaba sobre una tabla de forma similar a la de surf aunque más corta, propulsada por una lancha con la ayuda de un manillar.

La tabla para practicar Skurfing (la Skurfer) es desarrollada en 1985 por un surfista Californiano llamado Tony Finn. Este nuevo deporte es una combinación de Surf con Ski-acuatico y está claramente influenciado por las tablas de Snowboard de la época.

Al principio el usuario simplemente apoyaba los pies sobre la tabla. Las fijaciones para sujetarlos a la tabla surgen a fines de 1985 y es la primera gran innovación del deporte. El desarrollo se da en dos ciudades de estados unidos. Por un lado Finn agrega a su Skurfer los "straps" en San Diego, California. Lo mismo hace Jimmy Redmon, fundador de Redmon Designs en Austin, Texas. Las fijaciones amplían las posibilidades del deporte, permitiendo grandes saltos y diferenciándolo del surf.



Fig. 12 – Skurfer



Fig. 13 – Tabla Hyperlite

El Skurfing se mantiene sin mayores cambios ni innovaciones por el resto de la década. Finn continúa promocionando y vendiendo su Skurfer, cuyo diseño angosto y pesado requería mucha energía del usuario. De menor peso existían las tablas de Redmon, aunque su punto débil era la durabilidad. El crecimiento del deporte estaba limitado, eran necesarias innovaciones en el diseño de las tablas.

Es entonces el turno de entrar en escena para Herb O'Brien, propietario de H.O. Sports, una empresa que en esa época y aún hoy diseña y fabrica tablas de Ski acuático. En 1991 O'Brien se asocia con reconocidos diseñadores de tablas de surf y lanza al mercado una nueva marca de tablas: Hyperlite. La primera tabla que sale a la venta se diferencia de los productos que había hasta entonces en varios aspectos. La diferencia más importante y que facilita la práctica del deporte es que su centro de masa se acerca a su centro geométrico, generando una fuerza de flotación más controlable y facilitando así la práctica del deporte. Esta innovación ayuda al crecimiento del Wakeboard integrando a un volumen de mercado mayor. La hyperlite además se diferenciaba por su construcción tipo sándwich. Con cantos más finos lo que la hace más ágil y permite un mejor slalom que con los diseños

anteriores. La base de la tabla tenía largas quillas embutidas (lo que se logra gracias al nuevo método de construcción). Esto mejora el andar en dos aspectos: la tabla se siente más rápida el aterrizaje después de los saltos se hace más suave. El sistema de fijaciones también cambia, los straps son reemplazados por botas, que dan un mejor agarre y facilita mayores saltos y nuevos trucos.

Las tablas de Hyperlite se suceden mejorando una tras otra, pero siguiendo las características mencionadas. Habrá que esperar hasta 1993 para que aparezca un nuevo concepto de diseño que revoluciona nuevamente el mercado: tablas simétricas. Las tablas que hasta ahora mencionamos tenían una punta y una cola con marcada diferencia, igual que en una tabla de surf la parte delantera termina en punta mientras que la trasera está cortada. Redmon aparece nuevamente en escena desarrollando la primera tabla "twin-tip", en esta no hay diferencia entre los extremos de la tabla por lo que se puede andar igual en cualquier sentido. Esto impacta en el deporte permitiendo más opciones en trucos.

Con los años el deporte ha continuado creciendo en cantidad de adeptos y en variables. Se crea un circuito mundial para profesionales con campeonatos alrededor del mundo, aparecen revistas y otras publicaciones especializadas, se adaptan lagunas privadas en donde se puede andar impulsado por un cable sin necesidad de una lancha añadiendo rampas y sliders a la pista y se continúan mejorando las tablas.



Fig. 14 – Cable riding en Orlando Watersport Complex, Florida

Según un artículo publicado el 22 de Junio de 1997 por The New York Times, en 1996 se vendieron 1,3 millones de tablas en todo el mundo.

La última gran innovación que vive el Wakeboard se da en 2008 cuando Hyperlite lanza a la venta un nuevo modelo de tabla llamado Roam que tiene la forma y la flexibilidad de un Snowboard. El alma de la tabla es de madera y tiene una base completamente lisa, sin quillas ni ondulaciones. Esta especialmente diseñada para

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

usar sobre rampas y caños, además ofrece nuevas posibilidades de trucos sobre el agua como apoyarse sobre los extremos levantando el resto de la tabla y combinar esto con giros.



Fig. 15 – Hyperlite Roam

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

## III.- Segunda parte. La construcción actual de las tablas

### 3.1 Las formas de la tabla

Se explicarán los puntos de diseño de las tablas, describiendo en cada caso las diferencias de las distintas geometrías a los efectos prácticos. Esta información fue construida en base a los datos provistos por Cutun Martin, wakeboarder profesional y diseñador de tablas.

Superficie inferior de la tabla, base o 'ROCKER'		
Existen diferentes diseños, con variantes en el radio de curvatura y la forma del rocker. Todas las tablas tienen su superficie inferior en curva y se define como altura de rocker a la distancia vertical entre el centro de la tabla y las puntas, esta distancia esta generalmente entre 5 y 7 cm, dependiendo del modelo de tabla. La base puede ser:		
Base continua	Base en etapas	Base híbrida
Si hacemos un corte longitudinal en una tabla de base continua se observará que la curvatura del laminado inferior es continua. El agua que pasa por debajo de este rocker sigue una línea continua, sin interrupciones por ángulos vivos o variaciones en la curvatura. Esto causa una minimización en la fricción entre la tabla y el medio, por lo que los modelos con esta característica son descriptos como rápidos, ágiles y de buena respuesta, fácilmente controlables y de comportamiento predecible por el usuario. Son generalmente utilizadas en tablas para principiantes.	En este caso la curva que sigue la base de la tabla es discontinua. En general tiene 3 partes, con una etapa central notablemente plana. Esta discontinuidad causa un mayor rozamiento con el agua que puede ser explicado por las discontinuidades que debe realizar el flujo. Esto se siente como si se tuviera un lastre. Son tablas menos amigables que las de rocker continuo, ofrecen menos margen de error y no son tan estables. La gran ventaja de este diseño de base es un mayor despegue vertical al saltar. El diseño de base en etapas es utilizado mayormente en tablas para usuarios avanzados.	En la búsqueda por lograr una tabla versátil se han lanzado tablas con bases que combinan los dos tipos anteriores, el resultado es un intermedio entre las características anteriores. Por ejemplo, el modelo Murray 2008 de Hyperlite tiene una base que ha llamado 'rocker de línea doble' en donde el centro de la tabla sigue una curva en tres etapas mientras que hacia los cantos la curva se hace continua. Otra solución encontrada llamada 'rocker progresivo' se puede encontrar en el modelo Gonzalez 2008 de Gator Wakeboards. El rocker progresivo sigue una curva de radio variable, que es grande en el centro y se achica progresivamente hacia las puntas de la tabla.

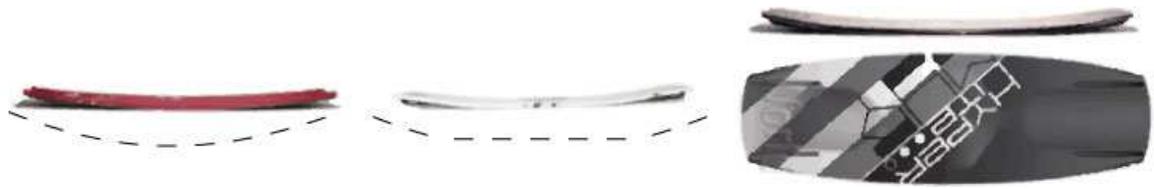


Fig. 16 – Distintos diseños de base: a. Base continua, b. Base en etapas, c. Base Híbrida

Superficie superior de la tabla o 'DECK'
Esta es la superficie en donde se encuentran los insertos para el ajuste de las botas sobre la tabla. Hasta 2007 ninguna empresa presentaba un diseño de Deck que proporcione alguna ventaja funcional diferencial. La superficie superior tradicional es lisa pero no plana, sigue una curvatura parecida a la de la superficie inferior, de esta manera el perfil completo de la tabla tiene forma curvada y las fijaciones apoyan sobre esta superficie. Como la base de las fijaciones es plana el resultado es un apoyo desparejo. La marca de tablas Ronix presenta en 2007 el Deck de cinco etapas, un diseño innovador que brinda dos superficies totalmente planas para el apoyo total de las botas, sin espacios libres. Esto ayuda a una mejora en la transmisión de las fuerzas a la tabla por parte del usuario, la tabla se agiliza. Además alarga la vida útil de los insertos a donde van ajustadas las fijaciones mediante tornillos, ya que al lograrse un apoyo total se evitan movimientos de las fijaciones con respecto a la tabla que hagan variar la dirección de la fuerza entre los tornillos y los injertos.

Cantos de la tabla
Se llaman cantos a los laterales. Las variaciones se encuentran en la forma. Pudiendo ser más filosos o más redondeados. Las tablas con cantos filosos son más rápidas y más propensas a los cambios de peso. Al realizar un giro el usuario inclina la tabla sobre el lateral. En este momento el agua, que cuando se va derecho tiene contacto solamente con la base de la tabla, pasa a fluir también por los cantos hasta montarse sobre la superficie superior. Cuanto más filosos sean los bordes de la tabla más rápido se producirá el montaje de agua y más abrupta será la respuesta. Los cantos redondeados son más estables, se hace más dificultoso doblar, pero esto es bueno por ejemplo en usuarios principiantes que percibirán una mayor estabilidad direccional.

Ancho y largo de la tabla
Los modelos de tabla se construyen generalmente con más de un largo (entre 130 y 150 cm). El objetivo es brindar opciones al cliente que elegirá que largo de tabla usar en función de su altura, su peso y sus preferencias. El largo condiciona la maniobrabilidad de la tabla. El ancho está relacionado con el largo, entre 1:2.9 y 1:3.25 tomando el valor del ancho del centro de la tabla. El promedio esta alrededor de los 42 cm. Cuanto más ancha es la tabla mayor es la superficie de impacto con la ola y por consiguiente es más alto el despegue en los

saltos. El problema cuando se ensancha la tabla es que se hace más difícil ir de canto a canto tratando de hacer un giro y contragiro rápido. Otro problema es que impactan contra el agua con mayor violencia y esto causa que se rompen con mayor facilidad.

**Forma de los extremos de la tabla: tail (extremo trasero) y nose (extremo delantero)**  
Más allá de la ventaja estética, el diseño de los extremos con forma curva disminuye la superficie total de la tabla. Esta reducción en las puntas es útil a la hora de saltar ya que la tabla va despegándose del agua progresivamente, este efecto ayuda a obtener mayor altura. Además se obtiene una ventaja por una disminución del peso total del producto.  
El tail y el nose son simétricos en las tablas de Wakeboard modernas, esta característica se llama twin tip.

### 3.2 Los materiales de la tabla

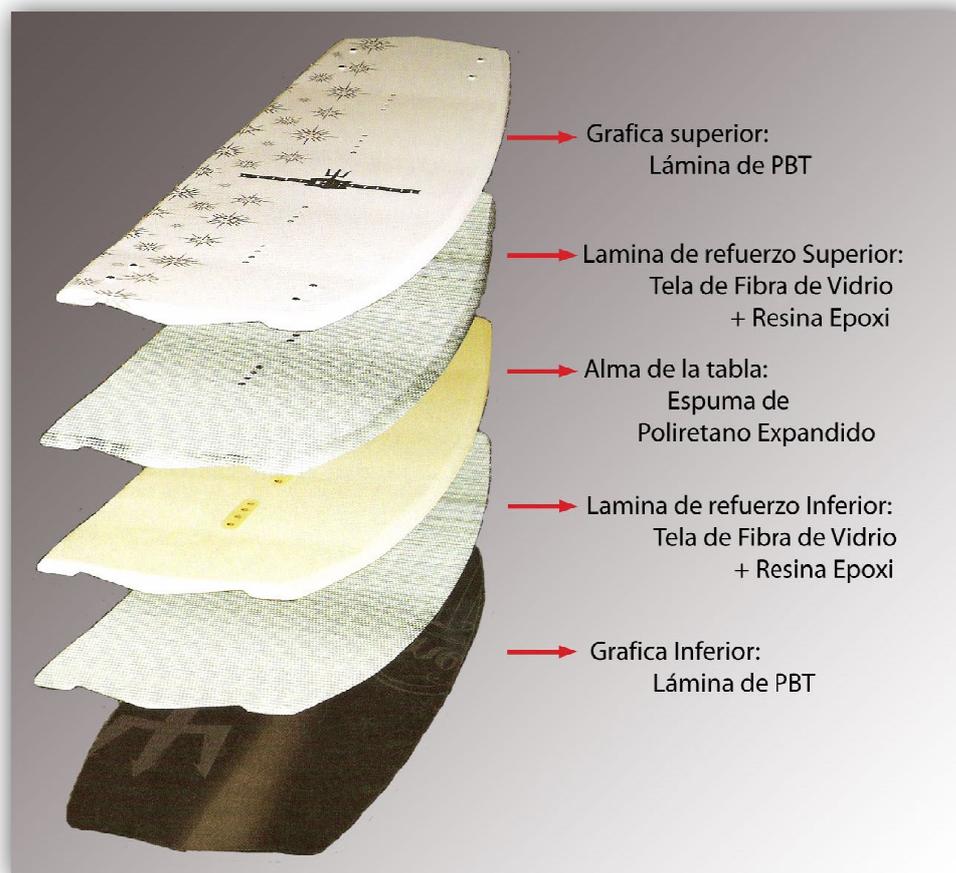


Fig. 17 – Explosión de materiales

Todas las marcas de tablas de Wakeboard, o al menos todas las que han sido nombradas en la encuesta realizada (de la cual se darán detalles más adelante) utilizan las mismas técnicas y los mismos materiales para la construcción de sus tablas.

En un primer paso se inyectan dos componentes en una matriz de aluminio precalentada. Los componentes son el polioliol y el isocianato que reaccionan dando lugar a una espuma de poliuretano que se expande copiando la forma de la matriz y luego de 7 u 8 minutos endurece. Al cabo de este tiempo se desmolda la espuma, que será el alma de la tabla. Se le eliminan las rebabas y se arena dejando su superficie libre del compuesto desmoldante.

El segundo paso en la construcción de las tablas es el de laminación. Para esto se utiliza tela de fibra de vidrio y resina epoxi que se aplican sobre el foam. Aquí puede haber diferencias entre las marcas y modelos de tablas en la tela que utilizan. Las variables pueden ser tanto el espesor como la construcción (bidireccional, tridireccional, plane, twirl, etc.)

El tercer y último paso es el prensado y la aplicación de la grafica. Aquí se utiliza una segunda matriz que llamaremos 'de prensado' que tiene dimensiones algo mayores que la primera por que se le ha agregado material al producto salido de la primera. El prensado se realiza en conjunto con la grafica, que está impresa en un lámina de PBT que completa el sándwich de la tabla compuesto por: PBT, Fibra, Foam, Fibra, PBT.

Este tipo de construcción se llama justamente construcción sándwich, cada componente del este tipo de estructuras cumple un papel especial que intentaremos explicar a continuación.

### 3.2.1 La estructura sándwich

Se trata de dos láminas separadas entre sí por un núcleo y unidas a él por medio de juntas.

Consta entonces de tres elementos:

- Láminas o Facings
- Núcleo o Core
- Adhesivo o Juntas

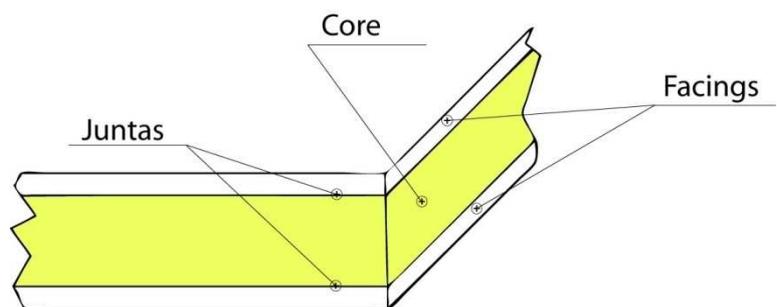


Fig. 18 – Estructura sandwich

Cada elemento cumple su función para que todo trabaje como un conjunto:

- Los Facings o láminas soportan los esfuerzos de tensión y de compresión de la estructura, en la construcción de tablas de Wakeboard se utiliza tela de fibra de vidrio.

- El núcleo o Core cumple la función principal de mantener las láminas distanciadas entre si, de esta manera aumenta el momento de inercia de la estructura y por lo tanto su rigidez. Además soporta las fuerzas de corte, que usualmente son muy pequeños en comparación con el resto de los esfuerzos (que son tomados por las láminas). Para la construcción del core se busca un material que pueda soportar estos esfuerzos y que sea liviano para que toda la estructura tenga la rigidez adecuada con el menor peso posible. En la mayoría de los casos, las tablas de Wakeboard son contruidas con espuma de poliuretano como material para el core.
- El tercer elemento es el adhesivo o juntas, que cumple la función de mantener a las láminas y al núcleo unidos funcionando en conjunto, impidiendo que existan deslizamientos internos.

### 3.2.1.1 Rigidez a la flexion

El cálculo de rigidez que se utiliza en perfiles de construcción puede ser adoptado para su aplicación en estructuras sandwich.

En un perfil la rigidez (Rig) se calcula como el producto del modulo de elasticidad del material (E) con el momento de inercia de área (I). En una estructura sandwich lo podemos calcular como la suma del producto del modulo de elasticidad con el momento de inercia de cada una de las partes, por lo tanto:

$$Rig = E_f I_f + E_c I_c$$

Donde los subíndices f y c corresponden a facings y core respectivamente.

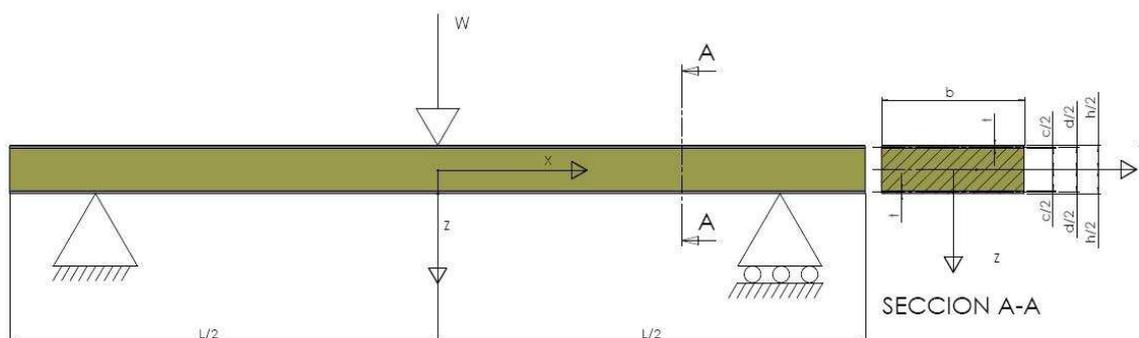


Fig. 19 – Viga sandwich

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

$$Rig = E_f * \left( \frac{b * t^3}{6} + \frac{b * t * d^2}{2} \right) + E_c * \left( \frac{b * c^3}{12} \right)$$

Momento de inercia de los facings con respecto a su propio centro de masa	Corrección para trasladar el momento de inercia de los facings con respecto al centro de masa del conjunto	Momento de inercia del core con respecto a su propio centro de masa, que coincide con el del conjunto
---	--	---

En las tablas se cumple que las láminas tienen un espesor mucho menor que el núcleo, por lo tanto:

$$t \ll c \rightarrow c \sim d \sim h$$

Supongamos  $d > 6 * t$ , cuando esto se cumple obtenemos que el segundo término de  $I_f$  será mas de 100 veces mayor que el primero:

$$\frac{b * t * d^2}{2} > \frac{b * t * (6 * t)^2}{2} > 100 * \left( \frac{b * t^3}{6} \right)$$

Por lo tanto podemos despreciar este término y la ecuación de rigidez a la flexión nos queda:

$$Rig = E_f * \left( \frac{b * t * d^2}{2} \right) + E_c * \left( \frac{b * c^3}{12} \right)$$

El valor de  $E_c$  suele ser mucho menor que el de  $E_f$ , por ejemplo la espuma de PVC tienen un valor de  $E_c = 45MPa$  y la fibra de vidrio tipo E tiene un  $E_f = 26000MPa$ . La diferencia es tan grande que se puede asumir  $E_c \approx 0MPa$ . A partir de este supuesto la ecuación de la rigidez a la flexion se simplifica aun mas:

$$Rig = E_f * \left( \frac{b * t * d^2}{2} \right)$$

Esto significa que el núcleo no aporta a la rigidez mas que con su espesor (d), con el que logra mantener una distancia entre las caras.

### 3.2.1.2 Cálculo de esfuerzos

Para el cálculo de los esfuerzos también se utiliza la teoría clásica de vigas, modificada para adaptarla a una estructura compuesta.

La elongación en un punto a una distancia z del eje central se calcula como:

$$\varepsilon = \frac{M * z}{Rig}$$

Donde M es el momento y D es el módulo de rigidez.

Para obtener los esfuerzos en este punto multiplicamos la elongación por el módulo de elasticidad, por lo tanto los esfuerzos en las láminas y en el núcleo serán:

$$\sigma_f = \frac{M * z}{Rig} * E_f \quad \left( \frac{c}{2} \leq z \leq \frac{h}{2}; -\frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{c}{2} \right)$$

$$\sigma_c = \frac{M * z}{Rig} * E_c \quad \left( -\frac{c}{2} \leq z \leq \frac{c}{2} \right)$$

El esfuerzo máximo estara asociado al máximo valor de z en el intervalo, y la proporción en que se reparten los esfuerzos es:

$$\frac{\sigma_{f \max}}{\sigma_{c \max}} = \frac{E_f}{E_c} * \frac{h}{c}$$

Ya habiamos visto que  $E_c \ll E_f$ , teniendo esto en cuenta en la ecuación anterior es fácil ver que la contribucion del núcleo a los esfuerzos de flexion es practicamente nula.

Con respecto a los esfuerzos de corte, de la teoria para vigas sabemos que:

$$\tau = \frac{Q * S}{I * b}$$

Donde Q es la fuerza de corte en la sección, S es el área de la sección, I es el momento de inercia y b es el ancho de la estructura.

La figura 19 muestra el diagrama de corte para una viga doble T:

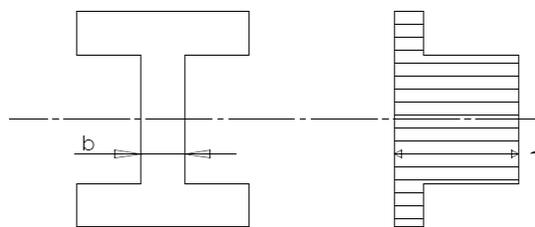


Fig. 20 –  
Diagrama de  
corte para  
una Viga  
DobleT

En la estructura sandwich debemos adaptar esta ecuación ya que los facings y el core tienen modulos de elasticidad distintos:

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

$$\tau = \frac{Q}{Rig * b} * \sum_i (S_i * E_i)$$

Para  $z < \frac{d}{2}$  tendremos:

$$\begin{aligned} \sum_i (S_i * E_i) &= E_f * \frac{b * t * d}{2} + E_c * \frac{b}{2} * \left(\frac{c}{2} - z\right) * \left(\frac{c}{2} + z\right) \\ &= E_f * \frac{b * t * d}{2} + E_c * \frac{b}{2} * \left(\frac{c^2}{4} - z^2\right) \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{Q}{Rig * b} * \left[ E_f * \frac{b * t * d}{2} + E_c * \frac{b}{2} * \left(\frac{c^2}{4} - z^2\right) \right] \\ &= \frac{Q}{2 * Rig} * \left[ E_f * t * d + E_c * \left(\frac{c^2}{4} - z^2\right) \right] \end{aligned}$$

El esfuerzo máximo se dara cuando  $z = 0$  y nos queda:

$$\tau_{max} = \frac{Q}{2 * Rig} * \left[ E_f * t * d + E_c * \frac{c^2}{4} \right]$$

El esfuerzo mínimo corresponde al máximo valor de  $z \rightarrow z = \pm \frac{c}{2}$  y nos queda:

$$\tau_{min} = \frac{Q}{2 * Rig} * [E_f * t * d]$$

Reemplazando Rig en la ecuación y considerando a  $E_c \approx 0$  como lo habiamos hecho antes:

$$\begin{aligned} \tau &\cong \frac{Q}{2 * Rig} * \left[ E_f * t * d + E_c * \frac{c^2}{4} \right] \cong \frac{Q}{2 * E_f * \left(\frac{b * t * d^2}{2}\right)} * [E_f * t * d] \\ &= \frac{2 * Q * E_f * t * d}{2 * E_f * b * t * d^2} \\ \tau &\cong \frac{Q}{b * d} \end{aligned}$$

La figura 20 muestra el diagrama de esfuerzos de corte para una estructura sandwich:

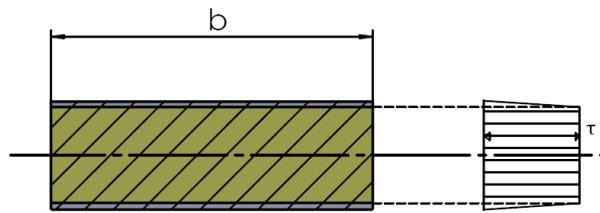


Fig. 21 –  
Diagrama de  
corte para una  
Viga de  
construcción  
sándwich

Como se ve en el diagrama, la mayor parte de los esfuerzos de corte son soportados por el núcleo.

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

## IV.- Tercera parte: La búsqueda del concepto

---

Para comenzar con la búsqueda de conceptos haremos una comparación entre el nacimiento y evolución para Wakeboard y el Snowboard.

### 4.1 El paralelismo entre el Snowboard y el Wakeboard

El Snowboard y el Wakeboard son dos deportes que recorren caminos parecidos. El primero nace en 1965 con el Snurfer como la alternativa al Surf en la nieve, el deporte de nieve que existía en ese entonces era el Ski. El segundo nace veinte años más tarde, en 1985 con el Skurfer, deriva del Surf y del Ski (acuático en este caso). Tanto el Snurfer como el Skurfer son tablas asimétricas, parecidas a las de Surf. El Snowboard evoluciona hacia tablas simétricas en 1987, el Wakeboard hace el mismo avance 16 años más tarde, en 1993. A partir de 1990 se crean varios parques de Snowboard, en donde hay rampas y caños para deslizarse. En los últimos años de la década del '90 se agregan rampas y sliders a los ya existentes parques de Ski acuático, para 2008 aparece una tabla especialmente diseñada para esto: la Hyperlite Roam.

Pareciera ser que el Wakeboard copia los pasos del Snowboard con un retraso lógico por haber nacido más tarde. Si esto es cierto podríamos encontrar un nuevo concepto para tablas de Wakeboard revisando el estado actual de las tablas de Snowboard y buscando características que aún no existan en el Wakeboard pero que podrían ser aplicadas.

Obviamente el Wakeboard tiene limitaciones que no existen para el Snowboard: al estar andando sobre agua y propulsado por una lancha no podemos variar la pendiente ni la velocidad, no tenemos pistas con bumps y parece imposible pensar en una estructura de media tubería como las que existen para el Snowboard.

Pero veamos algo mucho más simple: las clases de tablas para la nieve que se ofrecen. Burton, Nitro y muchas otras marcas de tablas de Snowboard ofrecen sus productos en cuatro clases:

- Freeride; tablas versátiles para uso general en toda la montaña
- Freestyle; para hacer pruebas, trucos y andar en diferentes condiciones de montaña
- Park&Pipe; especialmente diseñadas para rampas y sliders
- Race; tablas de bota dura, asimétricas, diseñadas para altas velocidades.

La mayoría de las tablas de Wakeboard están pensadas para el freestyle, recién en 2008 nace la primera tabla para rampas (park&pipe): la ya mencionada Hyperlite ROAM. Para 2009 la mayoría de las empresas presentaron sus propios modelos de park&pipe. El primer concepto que surge entonces es el de hacer una tabla de

Freeride, de uso general, versátil, con la cual se puedan realizar saltos al mismo tiempo que permita variedad en giros y trucos sobre el agua como la ROAM.

Surge entonces una primera propuesta. Siguiendo con los pasos del modelo de diseño, hay que ver la aceptación de esta idea. Este es el momento del diseño en que se decidió realizar un primer sondeo. Se comenzó con una encuesta que fue completada por 100 personas a través de internet. Los resultados de esta encuesta se muestran a continuación.

#### 4.2 Análisis de encuesta

Se realizó una encuesta convocando a Wakeboarders a través de dos foros de internet: Wakeboarder.com y WakeWorld.com. La misma fue completada por 100 personas y principalmente buscaba conocer el nivel del usuario común de Wakeboard. Ya se había dicho que las tablas están construidas pensando en el usuario avanzado, que tiene un estilo cargado de trucos invertidos y necesita de tablas que tomen fácilmente mucha altura en los saltos. Se parte de la hipótesis que hay un gran número de usuarios que no son capaces de aterrizar ni un solo truco invertido, limitándose a maniobras en las que saltan y agarran la tabla (grabs), saltan y hacen giros sobre el eje del cuerpo o maniobras sobre el agua como son los juegos con la ola, en su mayoría imitando los movimientos del surf.

Los datos demográficos tradicionales del usuario de Wakeboard no se preguntan para no sobrecargar de preguntas la encuesta, estos pueden ser obtenidos a partir de otra encuesta que Walker Communications ha hecho para la revista Wakeboarder. Según esta el usuario de Wakeboard es una persona obviamente deportista y activa. Tiene una edad promedio de 26,8 años, un ingreso familiar anual de U\$D 98000 y un patrimonio neto de U\$D 368000. El 86% son hombres, el 70,7% tienen lancha propia y el 46,5% tiene planes de comprar una lancha. En promedio llevan haciendo Wakeboard por 4,5 años.

Volviendo al análisis de la encuesta que hemos realizado, en una primera selección se eliminan los datos de dos encuestados, ambos contestaron las preguntas refiriéndose a otros deportes. Uno al Wakeskate, deporte que ya ha sido nombrado en secciones anteriores y el otro al Sky Ski, una actividad que no ha sido mencionada pero que será tomada en cuenta más adelante por tener características novedosas.

Tenemos entonces una población de 98 encuestados de entre 13 y 56 años (promedio: 26.5 años), a los cuales ordenaremos en las siguientes cuatro categorías según el nivel que expresaron tener:

- Categoría 1= Apenas salta.
- Categoría 2=Salta de ola a ola sin trucos
- Categoría 3=Salta de ola a ola con trucos no invertidos

- Categoría 4=Puede realizar al menos un truco invertido

El Gráfico de la figura 21 muestra la distribución de sujetos por categoría:

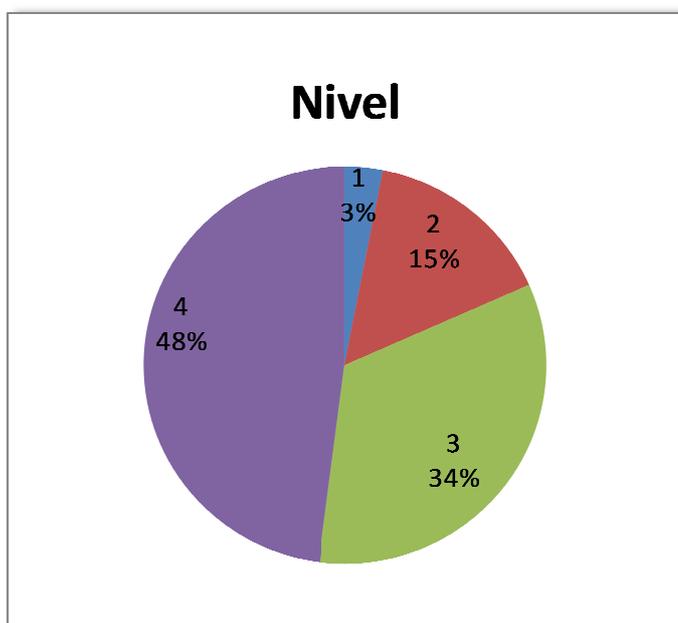


Fig. 22 – Distribución de sujetos por categoría

El 52% de los encuestados acepta no ser capaz de completar ni un solo truco invertido. Analizando los resultados obtenemos que todos los que sí pueden completar invertidos practican Wakeboard hace más de un año y un 89% lo ha hecho por más de tres años.

Hay doce individuos encuestados que practican el deporte hace menos de un año. Si los eliminamos del análisis suponiendo que con el tiempo van a progresar alcanzando el

nivel de diseño de tablas tenemos todavía a 39 encuestados que han estado practicando wakeboard por más de un año sin realizar ni una maniobra con la cabeza por debajo de la tabla. Es muy posible que a estas personas ya no les interese realizar este tipo de trucos, ¿por qué habrían de comprar tablas que fueron diseñadas para facilitar los grandes saltos y absorber las caídas desde alturas tremendas si estas personas tienen un estilo mucho más tranquilo?. A esta clase de usuario nos queremos dirigir con un diseño que favorezca la variedad en curvas, las maniobras sobre la superficie del agua y los saltos de ola a ola con trucos simples.

Nivel/Tiempo andando	Menos de seis meses	Entre seis meses y un año	Entre uno y tres años	Mas de tres años
Apenas Saltan	1%	1%	0%	1%
Saltan de ola a ola sin trucos	6%	1%	6%	2%
Saltan de ola a ola haciendo grabs	2%	1%	12%	18%
Saltan de ola a ola haciendo invertidos	0%	0%	5%	43%

Figura 23 - Distribucion de encuestados según Nivel y antigüedad en el deporte.

Otros datos relevados por la encuesta fueron la marca de tabla que cada usuario tiene y la puntuación que le dan en los siguientes cuatro aspectos, que no fueron expresamente definidos en la encuesta pero podríamos describir, según el vocabulario usado entre practicantes de Wakeboard, como:

- Saltos: Como responde la tabla a los saltos
- Respuesta: Como responde la tabla en general a las intenciones del usuario

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

- Velocidad: Se refiere a la sensación de velocidad sobre la tabla, es en realidad una medida de la suavidad con la que la tabla se desliza sobre el agua.
- Permisividad: La tabla menos permisiva es aquella que provoca una caída ante el mas mínimo error

Los cuatro aspectos se puntuaron de uno a cinco, siendo uno la peor y cinco la mejor marca.

Los resultados fueron realmente sorprendentes pues la mayoría de los usuarios califico con muy buenas puntuaciones a sus tablas en todos los aspectos. El promedio de las calificaciones en todas las categorías es mayor a cuatro puntos. Este resultado puede deberse a un error en el diseño de la encuesta o a que los usuarios se encuentran muy contentos con sus tablas. Continuando con la interpretación de datos podríamos argumentar las razones de tanta aceptación de las tablas propias en que no haya reales diferencias entre tablas como: falta de diferencias sensibles entre las tablas puntuadas; o puede interpretarse como incapacidad para distinguir las discimilitudes por inexperiencia o insuficiente sensibilidad a los cambios de parte de los encuestados. Yendo aún más lejos en el análisis y revisando las respuestas en detalle nos damos cuenta que la última opción es la más acertada.

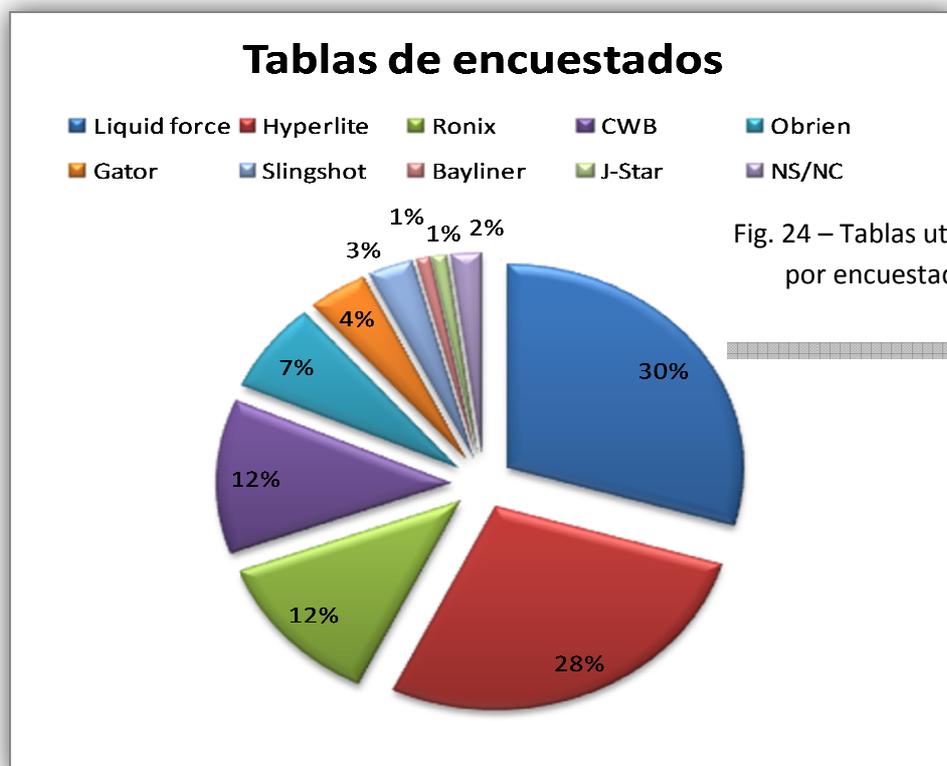


Fig. 24 – Tablas utilizadas por encuestados

Pongamos como ejemplo las calificaciones de la Hyperlite Premier, una tabla con un rocker en tres etapas bien marcadas, lo que en teoria le da a las tablas una gran explosion al saltar pero le quita mucha velocidad sobre el agua por generar un rozamiento muy grande con el agua, promocionada como una de las tablas que mas

acentua estas características. Ha sido puntuada 7 veces, en velocidad a obtenido: una calificación de 5 puntos, tres de 4 puntos, un usuario le ha dado 3 puntos y dos veces se la puntuados con 2. Es decir que una tabla que ha sido diseñada para ser lenta ha obtenido un promedio de casi 3 puntos y medio sobre los cinco posibles para la tabla más veloz.

El contexto hace pensar que debemos introducir algo realmente particular para diferenciarnos, porque el usuario común está muy contento con su tabla y no está dispuesto a cambiarla por pequeñas diferencias, de hecho no sera capaz de notar estas pequeñas diferencias.

Llega entonces el momento de presentar concretamente conceptos. Se interpreta en la encuesta que hay potenciales clientes de una tabla diseñada para un andar más simple y versátil, que permita variedad de trucos fáciles de aprender y sobre todo variedad de curvas. El diseño deberá diferenciarse sustancialmente de las tablas tradicionales. El producto será pensado para lanzarse a nivel mundial. El cliente tiene un perfil similar al que tiene un Wakeboarder promedio, que generalmente tiene lancha, aunque nuestro producto también debería poder usarse con otros medios de propulsión menos potentes. El precio de venta final debería ser igual o menor al precio de una tabla común (U\$D 400).

#### 4.3 Presentación de conceptos:

Los conceptos se presentan a través de fichas de producto, en donde se intenta mostrar brevemente de que se trata la idea de una manera atractiva para el cliente. Se proponen tres caminos en la búsqueda de una innovación en el marco del deporte, las propuestas son presentadas a continuación:



Fig. 25 – Primera propuesta: Hydrofoil Wake

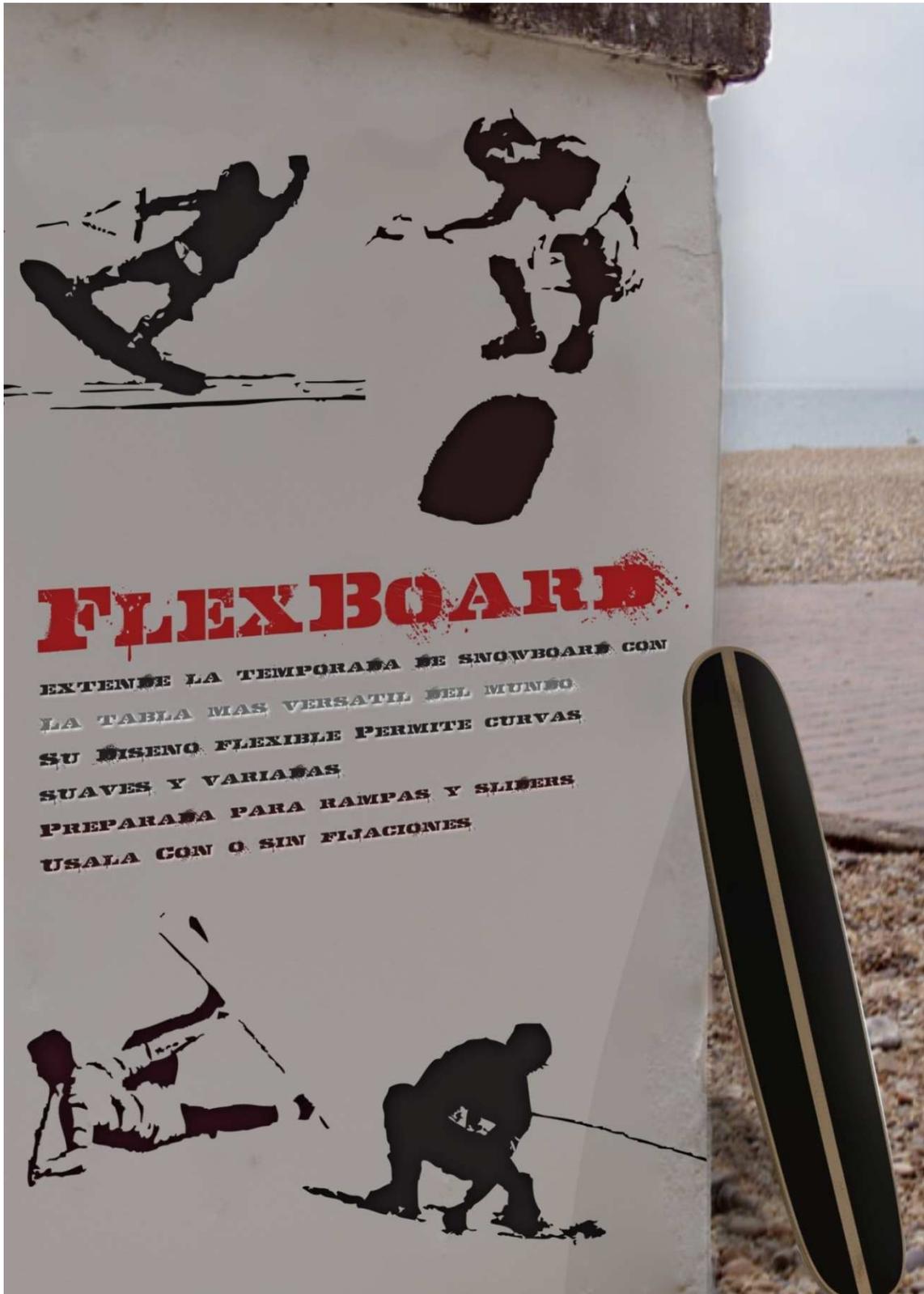


Fig. 26 – Segunda propuesta: Flexboard



Fig. 27 – Tercera propuesta: DeltaStreet

## V.- Cuarta parte. Selección y realización de conceptos

---

A partir de entrevistas realizadas a usuarios avanzados se ha decidido proceder con la FlexBoard como modelo conceptual. De esta tabla fueron resaltadas las siguientes características:

1. La versatilidad, especialmente la posibilidad de utilizarla tanto como Wakeboard o como Wakeskate
2. La facilidad de uso gracias a su semejanza con las tablas actuales
3. La posibilidad de utilizarla con facilidad sobre rampas y sliders gracias a su base plana y su flexibilidad semejante a la de un Skate o Snowboard
4. La innovación que supondría introducir una tabla flexible, que abriría a un nuevo repertorio de posibles trucos

Durante una de las entrevistas se planteó un segundo objetivo de aplicación inmediata para la mejora de las tablas actuales: reducir su peso. Este segundo frente de innovación se planteó junto a un productor local de tablas y wakeboarder profesional. El trabajo será realizado en conjunto con la empresa Neptune Wakeboards. La gran ventaja de esta etapa de trabajo es que tiene un objetivo concreto y medible, se cuenta con el apoyo de una empresa para su concreción y nos permite realizar otra etapa de la generación de productos: la evolución y mejora de los mismos.

Por lo dicho se avanza en dos frentes;

- ☉ Para el mercado actual se propone mejorar en peso uno de los modelos de la firma Neptune Wakeboards, la tabla se muestra en la imagen 28.

Requerimientos:

Disminuir el peso de la tabla de Wakeboard modelo “Cutun pro model 2008” de la firma Neptune Wakeboards, sin comprometer la resistencia mecánica del producto. El peso objetivo es de 2,5Kg. La vida mínima de la tabla debe ser de 1 año (plazo por el cual se ofrece garantía).



Fig. 28 - Cutun Martin 138 de Neptune Wakeboards

- Para el mercado futuro se plantea una tabla conceptual, en donde el objetivo es verificar el comportamiento y posibilidades de una tabla flexible.

Requerimientos:

Desarrollar un prototipo de tabla que introduzca al mercado la posibilidad de innovar en el producto trabajando sobre su flexibilidad. El prototipo deberá ser completamente funcional, de esta manera podrá ser probado en condiciones reales.

## 5.1- FlexBoard

---

Como habíamos mencionado, de los tres posibles caminos planteados se ha decidido continuar con el diseño de la FlexBoard. A partir de la ficha presentada anteriormente, la tabla debería tener:

- Reminiscencia a una tabla de snowboard
- Diseño flexible
- Deberá ser versátil: poder usarse en la mayor cantidad de escenarios (mar, rio, etc.) con la mayor cantidad de artefactos de propulsión (lancha, semirrígido, moto de agua, etc.).

### 5.1.1 Primera prueba:

La primera prueba realizada para probar una tabla flexible fue usar una tabla de Snowboard en el agua. Obviamente entre una tabla de Snowboard y una de Wakeboard hay muchas diferencias más allá de la flexibilidad. Por ejemplo, la tabla probada es una Burton de 26,5 cm de ancho, recordemos que las tablas de Wakeboard en promedio tienen un ancho de 42 cm, poco menos del doble. Esta diferencia hizo que saltar sea prácticamente imposible, en el intento de impactar la ola la tabla tiende a atravesarla sin lograr prácticamente altura. El andar normal también se siente diferente, más parecido al Mono-Ski que al Wakeboard. La flexibilidad junto con la falta de rocker hacía ‘vibrar’ demasiado a la tabla con las irregularidades normales de la superficie del agua.

Conclusiones: el ancho de la tabla y el rocker son absolutamente necesarios en una tabla de Wakeboard, la flexibilidad deberá ser controlada para evitar la vibración de la tabla.

### 5.1.2 Segunda prueba:

Se utilizó una tabla de Kiteboard como Wakeboard. La tabla tiene una flexibilidad mucho mayor a la de un Wakeboard normal y es más liviana. La construcción en general es más ligera porque las condiciones de uso son menos exigentes. Las limitaciones de esta prueba estaban relacionadas con esto. Como la tabla es más frágil que una tabla de wakeboard se debió probarla sin realizar saltos para no romperla. Además las fijaciones utilizadas eran tipo strap, fáciles de sacar y poner, pero no retienen el pie con la seguridad de unas fijaciones de Wakeboard. La tabla era impulsada con una moto de agua, de peso y potencia reducidos frente a una lancha. Más allá de todo esto la prueba es válida, se pudieron obtener resultados interesantes.

Conclusiones: la flexibilidad a la torsión de la tabla permite utilizar los cantos de la tabla en dos etapas, iniciando la curva con el pie delantero para luego, con el pie

trasero, utilizar el resto del canto. Esta es la técnica que se usa en el Snowboard y permite mayor control en curvas. La flexibilidad longitudinal de la tabla era limitada, esto junto con las características de peso y potencia de la moto de agua impidieron realizar otros trucos.

### 5.1.3 Tercera prueba - Realización de prototipo:

En este punto surge la necesidad de fabricar un prototipo que permita testear un diseño con las características que estamos buscando sin las limitaciones de las pruebas anteriores, pero aprovechando las conclusiones obtenidas hasta el momento.

El principal elemento que se quiere introducir es la flexibilidad, pero no es la idea que esto sea a costa de la resistencia estructural ya que la otra propiedad que queremos es la versatilidad, la cual se perdería en caso de tener que limitar el uso de la tabla para mantener su integridad. Anteriormente se había mencionado que en una estructura sándwich la rigidez estaba dada por la ecuación:  $Rig = E_f * \left(\frac{b*t*d^2}{2}\right)$ , por lo que disminuyendo la distancia entre láminas (d) a la mitad se lograría reducir la rigidez al 25%. El problema es que haciendo esto también se incrementarían los esfuerzos a los que están sometidas las láminas y se corre el riesgo de que la resistencia del producto no sea suficiente. Para asegurar que esto no ocurra recurriremos a un cambio de material. Se necesita un material con un módulo de elasticidad menor, flexible, con resistencia al impacto. Se recurre entonces un componente ya conocido en la fabricación de tablas: la madera. La construcción será la misma que se usa para un skate, láminas de Arce vetadas, pegadas con resina epoxy y prensadas a temperatura para darle la forma necesaria a la superficie superior e inferior.

Esto no quiere decir que la construcción final de la tabla vaya a ser definitivamente en madera, pero así nos aseguraremos obtener una tabla con las características buscadas y que se pueda testear sin limitaciones.

La elección de la cantidad y distribución de las láminas se realizó intentando imitar la flexibilidad del Snowboard utilizado en la primera prueba. Para esto se realiza un ensayo simple: se apoya la tabla de Snowboard sobre dos soportes y se coloca un peso en el centro, se mide la deflexión y se prueba repetirla en las mismas condiciones sobre tablas de Skate contruidas en madera con distintas configuraciones de láminas. Hay que tener en cuenta que el ancho de la tabla de Skate es similar al de la tabla de Snowboard y ya vimos que es necesario que la tabla de Wakeboard tenga un ancho mayor, y al aumentar el ancho aumentará la rigidez.

La configuración elegida es de cuatro láminas de 2 mm, las dos más cercanas a la base tienen las vetas orientadas longitudinalmente, luego hay una lámina con las vetas orientadas en forma lateral y por último la lámina restante, otra vez orientada longitudinalmente. Además se le agrega una lámina de formica de 1 mm en la base, la función de esta es mejorar el deslizamiento sobre el agua. Por último, se agrega una

lámina de fibra sobre la superficie superior, esta lámina cubre todo el largo de la tabla con un espesor de 1 mm, pero solo cubre un ancho de 7 cm para afectar poco a la flexibilidad a la torsión del producto, su función será solamente la de disminuir las vibraciones de la tabla cuando avanza sobre la superficie del agua y agregar firmeza a los insertos para las fijaciones, que se introducen en la tabla tallando la madera y sujetándolos con resina epoxy.

Se eligió una forma de base en tres etapas para mejorar el rendimiento de la tabla en los saltos. Luego del prensado se corta la tabla para darle la forma elegida a los bordes, que como ya habíamos dicho asemeja a una tabla de snowboard. Los cantos se redondean con una lija de banda, la forma de estos está limitada por motivos de seguridad: como el espesor es tan bajo no se le puede dar mucho ángulo por que quedaría demasiado filosa, lo que sería peligroso para el usuario.

La impermeabilización de la tabla se hace aplicando barniz marino. Este proceso es necesario para mantener las propiedades de la madera. El barniz marino es el indicado para la fabricación de botes y barcos por lo que se espera no tener problemas por humidificación del producto. Para terminar se aplica, sobre la superficie superior, papel de lija. La lija es utilizada en los skates para sujetar los pies y la idea de aplicarla sobre la tabla es poder utilizarla sin fijaciones, como Wakeskate, de esta manera se incrementa la versatilidad del producto.

La siguiente es una imagen del prototipo de prueba terminado:



Fig. 29 – Prototipo Flexboard (Largo: 1,2 m, Ancho: 0,39 m, Espesor: 0,01 m, Peso: 3,1 Kg.)

#### 5.1.4 Ensayos y resultados:

##### **Prueba de rigidez**

Con el prototipo terminado se realiza una prueba de deflexión para comparar la flexibilidad con la de la tabla de snowboard. La figura 30 muestra una superposición de las imágenes de de la tabla apoyada en dos puntos libre y con el peso de una persona, en negro se marca la posición inicial y final del centro de la tabla. La imagen 31 muestra lo mismo para la Flexboard.



Fig. 30 – Prueba de deflexión sobre tabla de Snowboard



Fig. 31 – Prueba de deflexión sobre Flexboard

##### **Ensayos en campo**

Se prueba la tabla propulsada por una lancha y por un gomón, la diferencia entre ambos está en la ola que dejan, mientras que la lancha mueve una gran cantidad de agua dejando una buena ola, el gomón prácticamente no hace ola. En ambos casos se prueba la tabla con y sin fijaciones.

La tabla responde bien, especialmente al usarla sin fijaciones, como Wakeskate. El problema al usarla como Wakeboard es que al ser tan corta tiene un despegue limitado, no se logra la altura que si se logra con las tablas tradicionales. La base plana unida a la flexibilidad permiten hacer trucos nuevos.

La Figura 32 muestra imágenes de las pruebas, a, b y c son imágenes de la prueba utilizando el semirrígido como bote de propulsión, en donde la ola que hace el bote es prácticamente nula, pero el diseño de la Flexboard permite realizar giros sobre el agua con facilidad. La imagen d muestra un truco absolutamente particular al diseño flexible, se trata de apoyar todo el peso en el extremo trasero de la tabla levantando todo el resto y obligando a la tabla a flexionarse, luego se suelta la tensión y se mueve el peso hacia delante, con esto se logra un pequeño salto que puede ser seguido de un giro de 180°. En snowboard un truco muy similar existe y se llama tail-press-180. La imagen f muestra un truco que puede ser realizado con una tabla común pero que con la Flexboard se facilita mucho: de espaldas a la lancha deslizándose con la tabla perpendicular a la dirección de movimiento. En las imágenes e y g se muestran saltos. Por último las imágenes h e i muestran a la tabla mientras se usa la Flexboard sin fijaciones, como Wakeskate.



Fig. 32 – Pruebas de campo con Flexboard (a- c propulsado por semirrígido, d-i propulsado por lancha)

#### 5.1.5 Conclusiones:

Hasta aquí se ha introducido al lector a una rama de deportes particular como son los deportes de tabla. Se ha presentado la historia y evolución del Wakeboard. Se ha analizado la construcción tradicional de las tablas, los materiales y procesos involucrados. Se ha encontrado un nicho de mercado que podría ser explotado: aquellos usuarios que disfrutan del deporte de una manera diferente, que no intentan acercarse a los deportistas de mayor rendimiento. Se ha encontrado que para esta clase de usuarios no hay un modelo de tabla particular, y que las necesidades de los mismos son particulares. Con estas y otras consignas de trabajo se han generado distintas alternativas de diseño y a través de encuestas se ha elegido una. El proceso ha continuado con la definición de una geometría de producto, la realización de un prototipo funcional y las pruebas.

Con esto se ha finalizado un ciclo del diseño del producto, siguiendo con el proceso normal de desarrollo de nuevas tablas el trabajo debería continuar con la fabricación de un nuevo prototipo de prueba para comparar los resultados con lo que hemos obtenido con el prototipo anterior. Un proceso de prueba y error hasta estar conformes con el rendimiento.

A continuación se debería definir la construcción y materiales del producto final, para obtener el costo de producción y el precio del mismo. En este sentido la fabricación en madera ha dado buenos resultados, el proceso es simple y los costos son inferiores a los de una tabla tradicional. Pero sería muy apresurado pensar que la primera configuración probada será la definitiva. Hace falta una prueba exhaustiva del producto en condiciones extremas, verificar por ejemplo que la madera mantenga sus propiedades protegida por el barniz. Esto nos permitirá asegurar la calidad a través del tiempo e incluso ofrecer una garantía.

Una vez definido el producto se debe verificar que este sea viable, que el nicho de mercado al cual estamos apuntando acepte la solución presentada. Y que la porción que lo acepta nos permita construir una marca, en otras palabras que el proyecto sea viable. En caso de que esto sea posible se pasaría a la etapa final del proceso que estamos siguiendo: la definición de la marca, la estrategia de la misma, las formas en que se va a comunicar con su público, etc.

Entonces el trabajo que queda por hacer es mucho, hemos llegado a atravesar solo una parte del proceso de diseño. El enfoque ha estado puesto en la metodología de trabajo, en entender el mercado, lo que tiene y lo que le falta y realizar los primeros pasos hacia la generación de una solución para eso que todavía no existe. Los resultados parecen ir por un buen camino. En esta tesis el proceso se abandona en este punto, futuros trabajos podrían continuar a partir de este punto.

En la siguiente sección se llevara a cabo el segundo objetivo que se había planteado, que tiene la ventaja de comenzar con un producto terminado, ya probado en el mercado, y mejorarlo. Se lo intentará mejorar con un objetivo concreto. El hecho de trabajar con un producto terminado, con el apoyo de una empresa productora y con un objetivo medible nos permitirá salir del proceso tradicional de prueba y error para realizar un estudio con una carga mayor de ingeniería, analizando fallas, generando modelos y obteniendo resultados a partir de cálculos. Todo esto comienza en la siguiente sección.

## 5.2.- Innovación sobre las tablas actuales

---

### 5.2.1 Introducción

Como ya hemos mencionado, la innovación en el diseño de las tablas ha seguido un proceso de prueba y error desde su nacimiento hasta la actualidad, donde la evaluación de performance se basa en la sensación de los usuarios al probar nuevas tablas y la aceptación en materia de calidad se da a partir de la prueba de las mismas durante un período de tiempo para luego verificar su integridad. En esta sección plantea el objetivo de disminuir el peso del producto, en particular se trabajara sobre un modelo de la firma Neptune Wakeboards llamado CUTUN MARTIN PRO MODEL. Esta innovación es necesaria para el progreso del deporte. Hoy en día los profesionales son capaces de realizar saltos de más de cuatro metros de altura, disminuir el peso de las tablas garantizando la no rotura de las mismas permitiría a los usuarios mayor maniobrabilidad en el aire, de esta manera se facilitarían los trucos existentes y se abriría la posibilidad a nuevas maniobras.

Se trabajará sobre un modelo en particular cuyo peso actual es de 3,2 Kg. Se trata de una de las tablas más livianas del mercado y la idea es lograr modelo ultraliviano con un peso inferior a 2,7 Kg. Se tratará de una versión *elite* del modelo actual. Para asegurar la integridad del producto primero se analizará la falla sobre una tabla regresada en garantía, se intentará explicar el mecanismo por el cual se ha producido la rotura y se intentará reproducir la misma en el laboratorio. A continuación se introducirá un modelo con el cual se podrán predecir las fuerzas que actúan sobre la tabla en el momento de mayor exigencia: durante el aterrizaje luego de un salto.

Con el modelo se podrá analizar la factibilidad de utilizar nuevos materiales más livianos con el propósito de lograr el objetivo. Complementando este estudio se realizará una serie de pruebas sobre probetas y se probarán distintos prototipos realizados con nuevos materiales como Fibra de Carbono y de Kevlar para los facings y espuma de PVC para el core.

Esto constituirá el primer estudio de ingeniería específico sobre tablas de Wakeboard. Existen trabajos que estudian tablas para otros deportes, especialmente en los de invierno como Snowboard o Ski. Algunos de ellos se centran en las fuerzas que actúan sobre el objeto de estudio, por ejemplo los trabajos de Kawai et al. de 2003 (Ski) y de Buffinton et al., también del mismo año (Snowboard). Si bien los esquís, Snowboards y Sakeboards son tablas de construcción sándwich la diferencia de nuestro objeto de estudio es que se utiliza sobre agua y no sobre nieve. En 2003 Kawai, Otani y Sakata desarrollaron una simulación para estimar las fuerzas actuantes sobre los esquís durante una curva, justificando la aproximación numérica comparando los resultados con aquellos obtenidos en forma experimental. El mismo

año Bennan, Kollar y Springer desarrollaron un programa de computadora que simula la mecánica de un snowboarder a lo largo de una curva en S, el modelo puede ser utilizado para comparar distintos diseños de tablas. Más reciente es el estudio de Scott, Yoneyama, Kawada y Osada (2007), en donde se mide la presión ejercida sobre un Ski utilizando sensores de presión y celdas de carga.

Se ha encontrado además un estudio acerca del diseño de una tabla de Skateboard para slalom, la cual también se construye utilizando materiales compuestos, este es de Endruwit y Ermanni (2002). En este trabajo los autores sólo analizan la tabla durante su movimiento sobre la superficie, dejando de lado las cargas de impacto que aparecen al realizar saltos.

Acerca del estudio de paneles sándwich impactando sobre la superficie del agua existen muchos trabajos, sobre todo con aplicaciones aeroespaciales (ej: Thuis et al., 1998) y navales (ej: Qin y Batra, 2008). Esta rama de estudio ha progresado para volverse demasiado específica.

### 5.2.2 Análisis de falla

Para el análisis se utiliza una tabla que ha fallado en servicio durante uso normal. La avería causa una pérdida de rigidez que vuelve a la tabla inutilizable. Esta es la forma más común de rotura de tablas (según información provista por Neptune Wakeboards), se localiza en la lámina inferior entre el centro y la fijación del pie que actúa como trasero en el momento de aterrizaje.

Cuando una tabla se rompe durante su uso hay una pérdida en la imagen del productor, la mayoría de las marcas ha intentado contrarrestar esto a brindando una garantía a sus clientes con la cual la tabla rota puede ser cambiada por una nueva. Incluso Neptune ofrece una garantía de un año sobre sus productos. Este es un procedimiento costoso, que podría ser evitado o al menos minimizado con un análisis del estado de carga y la resistencia de los materiales.

Volviendo al análisis de la rotura, la tabla en análisis ha sido cortada para separar la zona de la falla. Es fácil saber dónde cortar ya que se ha formado una línea visible en la lámina plástica exterior. Como puede verse en la figura 33 la falla se concentra en el layer inferior, en un lado de la tabla (lado izquierdo en la figura). Parecería tratarse de una delaminación y se encuentra localizada a 10 cm. del centro de la tabla, hacia el lado de la fijación que actuaba como trasera.



Figura 33 – Corte de la tabla y zona de falla

A través del análisis de la falla con la ayuda de un microscopio se pudo confirmar que se trataba de una delaminación pura. No hay evidencias de rotura de fibras ni de resina. El foam se ha separado justo por encima de la lámina inferior, dejando una delgada capa de poliuretano adherido a la matriz epoxidica, el resto de la espuma está sana.

Esta clase de rotura podría ser causada por un pico de esfuerzo de corte mientras la lámina está sometida a un esfuerzo de compresión. La fuerza de corte deriva en la delaminación que se completa con el pandeo de la lámina debido a su estado de sollicitación (compresión).

### 5.2.3 Reproducción de la falla en el laboratorio

Se ha intentado reproducir el mecanismo de falla explicado en la sección anterior con el objetivo de obtener una rotura similar a la vista en la tabla. El método elegido para la reproducción de la rotura fue el de someter probetas realizadas a partir de trozos de la tabla analizada a un test de flexión sobre tres puntos. La geometría entre las probetas no es la misma, era imposible obtener cinco trozos iguales debido a la curvatura de la tabla. Por esto es que no podía existir comportamiento idéntico durante cada una de las pruebas, se podía esperar diferencias tanto en el valor de la fuerza de rotura, el desplazamiento e incluso el tipo de rotura.

Para las primeras cuatro pruebas hemos obtenido una rotura del alma, con valores para la fuerza última de entre 2,2 y 3,1 kN. En algunas de las probetas se pueden observar incluso otros tipos de falla como por ejemplo fibras en el eje secundario rotas debido a esfuerzos causados por la geometría de la probeta, que generaba concentración de tensiones y momentos de flexión a lo largo de ejes secundarios.

Con la última probeta se pudo reproducir el mecanismo de falla que se estaba buscando: el alto esfuerzo de corte causa una delaminación seguido del pandeo de la lámina separada del resto de la estructura debido al esfuerzo de compresión. El valor de la fuerza última en este caso fue de 2,8kN. Esta probeta estaba

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

hecha con el centro de la tabla, por lo que su geometría era casi totalmente prismática, de esta manera se evitaban otros esfuerzos no deseados.

En el grafico de la figura 34 se pueden ver los resultados de los ensayos, como puede notarse el desplazamiento necesario para romper el alma es mayor al que se obtuvo para la ultima probeta en la cual se ha logrado la falla real. Durante el uso de la tabla tal desplazamiento no existen, es por esto que la falla mas usualmente encontrada es la de delaminación/pandeo y no la de rotura de la espuma.

En la figura 35 podemos ver las imágenes de dos de las probetas rompiéndose, 35-a muestra el resultado de uno de los primeros ensayos en donde se puede ver la espuma rota a 45° como falla principal y un desgarramiento de las fibras en el eje secundario (del lado trasero en el centro de la probeta). 35-b muestra el resultado obtenido para la última probeta: delaminación y pandeo de la lámina comprimida. La foto muestra el momento exacto en el que se produce el pandeo.

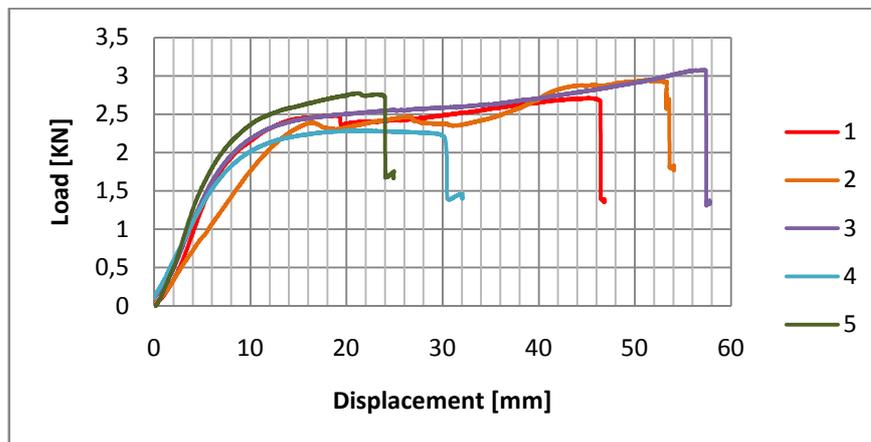


Figura 35 – Resultados de ensayos (1-4: Rotura de core, 5: delaminación/pandeo)



Figuras 35 a, b – Probetas luego de la aparición de la falla

#### 5.2.4 Modelo analítico

La secuencia que se muestra en la figura 36 fue obtenida de un DVD de Wakeboard llamado “The truth” en donde se pueden encontrar escenas en cámara lenta de alta resolución. Estas fueron utilizadas para entender el mecanismo de

aterrizaje luego de un salto. Se puede apreciar como el aterrizaje comienza con el apoyo sobre el agua de la parte trasera de la tabla, luego hay una rotación de la misma que permite un avance del fluido sobre su superficie inferior, esto continua hasta que el Wakeboard queda totalmente apoyado sobre el medio. En este punto parecería que la tabla se ha deformado causando la desaparición de la curva del rocker, esto confirmaría que en los primeros instantes del aterrizaje el laminado inferior es sometido a compresión. Después de este punto hay un rebote y el agua vuelve a retroceder. El estado de cargas podría alternarse completamente, aunque esta vez la energía en juego es inferior a la inicial.

El agua actúa como una fundación elástica, en el modelo la representaremos como una carga distribuida: elasticidad constante. Todo el sistema está en movimiento, no solo lineal, sino que además se encuentra rotando. Pero para simplificar el modelo será cuasi-estático, los esfuerzos en el sistema estático son mayores que en el dinámico, por lo que no será un problema usar los resultados para el diseño de los materiales. Los pies completan el sistema, ejercen fuerza empujando la tabla hacia el agua.



Fig. 36 – Secuencia de aterrizaje

La tabla es entonces modelada como una viga con dos fuerzas actuando en forma vertical hacia abajo (los pies) y una carga distribuida que ejerce fuerza en el sentido contrario. El valor de las fuerzas de los pies y la posición y valor de la carga distribuida dependen de un parámetro relacionado al tiempo (t). Las ecuaciones que gobiernan el sistema son:

$$F_1[t] = a[t] * F[t]$$

$$F_2[t] = b[t] * F[t]$$

$$a[t] + b[t] = 1$$

$$F[t] = F_f + F_0 e^{-\lambda t} \text{Cos}[\omega_1 t]$$

$$b_1[t] = b_{1f} + b_{10} e^{-\gamma t} \text{Cos}[\omega_2 t]$$

$$b_2[t] = b_{20} + b_{21} \sqrt{\frac{1}{10^n}} - b_{22} \sqrt{\frac{1}{10^m}}$$

$$b[t] = b_2[t] - b_1[t]$$

Como puede verse hemos modelado a la fuerza total ejercida por el cuerpo como una oscilación exponencialmente amortiguada. La amplitud de la misma es  $F_0$  (fuerza de impacto inicial), la constante de amortiguación es  $\lambda$ , la frecuencia  $\omega_1$  y la fuerza a la que converge es  $F_f$  (Fuerza en el estado final que en condiciones normales es el peso del usuario). La distribución de esta fuerza entre los dos se calcula para que el sistema se mantenga en equilibrio.

La carga distribuida actúa entre  $x_1 = b_1[t]$  y  $x_2 = b_2[t]$ , que responden a las ecuaciones dadas anteriormente salvo en el caso en que las ecuaciones devuelvan valores fuera de los límites de la tabla, por esto el valor mínimo de  $b_1$  se fija en cero y el valor máximo de  $b_2$  se fija en el valor de la longitud de la tabla. En la figura 37 se muestra un diagrama del modelo.

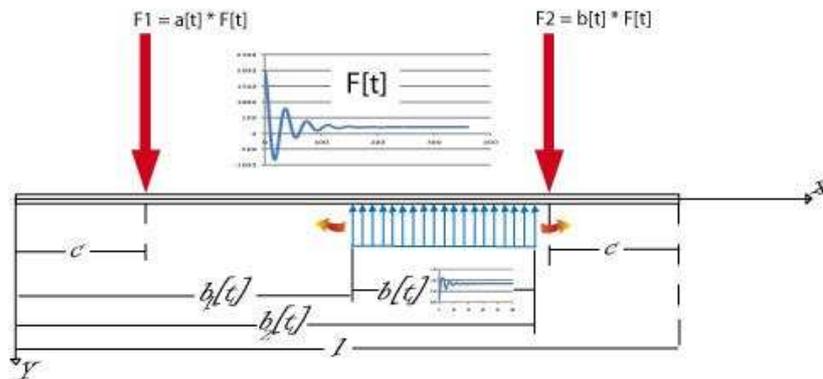


Fig. 37 – Diagrama del modelo

El modelo se resuelve con las condiciones de equilibrio, utilizamos la ecuación de equilibrio de fuerzas para el cálculo del valor de la carga distribuida, como se muestra a continuación:

$$\sum \mathcal{F} = 0 \rightarrow F_{rt} = \frac{F[t]}{b[t]}$$

Y utilizamos la ecuación de equilibrio de momentos para el cálculo de la distribución de  $F[t]$  entre  $F_1[t]$  y  $F_2[t]$ , como se muestra a continuación:

$$\sum \mathcal{M} = 0$$

$$F_1[t] * c + F_2[t] * (1 - c) - Frt[t] * b[t] * \left( b_1[t] + \frac{b[t]}{2} \right) = 0$$

$$a[t] * F[t] * c + (1 - a[t]) * F[t] * (1 - c) - F[t] * \left( \frac{b_2[t] + b_1[t]}{2} \right) = 0$$

$$\rightarrow a[t] = \frac{1 - c - \frac{1}{2} (b_2[t] + b_1[t])}{1 - 2c}$$

El modelo se utiliza entonces para el cálculo del momento flexor y esfuerzo de corte a lo largo de la tabla, los gráficos de las figuras 38 y 39 muestran el resultado utilizando las siguientes constantes:  $f_0=2000N$ ;  $\lambda=0,07$ ;  $f_f=800$ ;  $b_{10}=0,7$ ;  $b_{1f}=0,11$ ;  $b_{20}=1,11$ ;  $b_{21}=0,4$ ;  $b_{22}=0,13$ ;  $l=1,38$  y  $c=0,27$ .

En los gráficos podemos ver el resultado para los primeros diez instantes, se puede apreciar como el momento flexor máximo se traslada a través de la tabla. El esfuerzo de corte también varía de instante a instante.

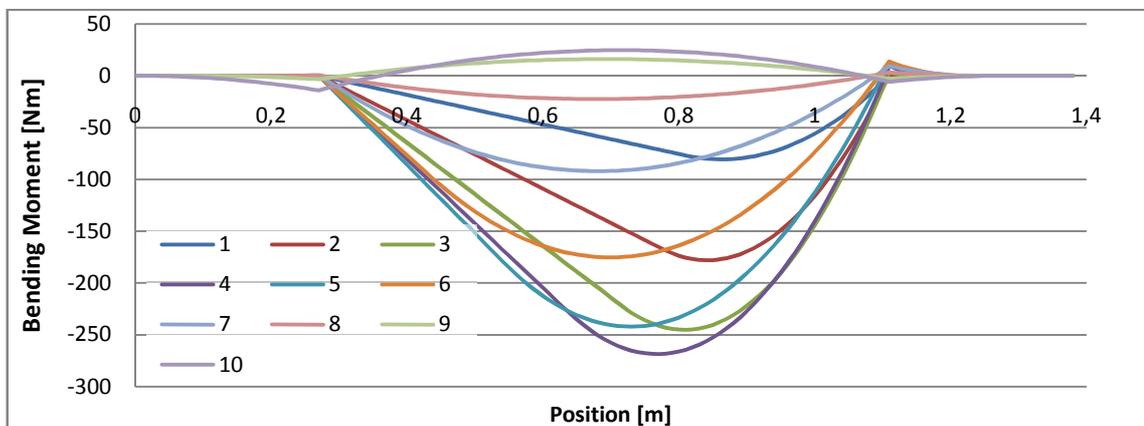


Figura 38 – Momento flexor

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

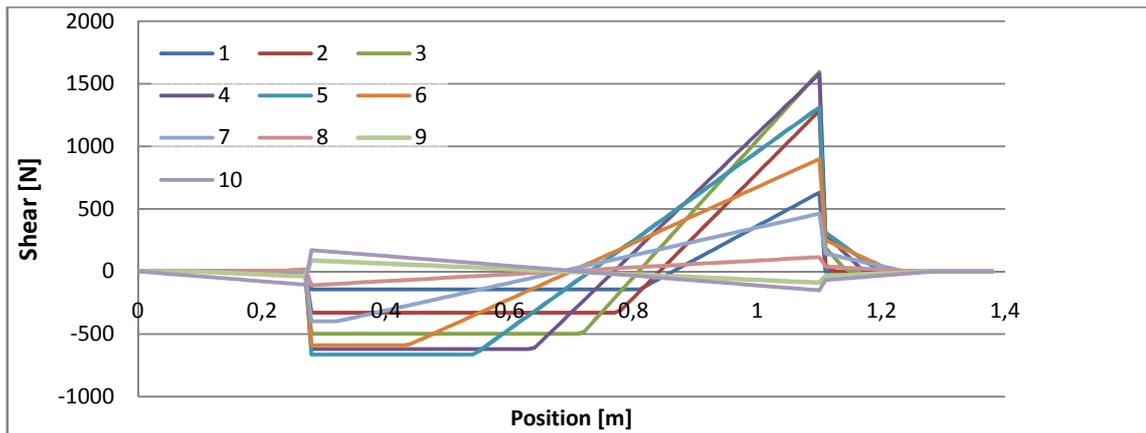


Figura 39 – Esfuerzo de corte

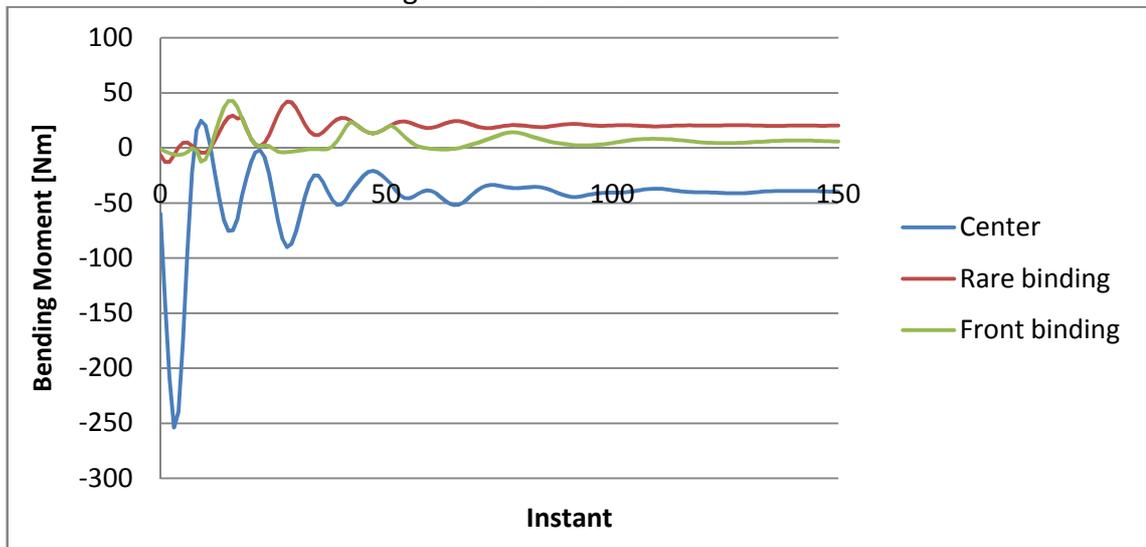


Figura 40 – Momento flexor a través del tiempo para tres puntos de la tabla

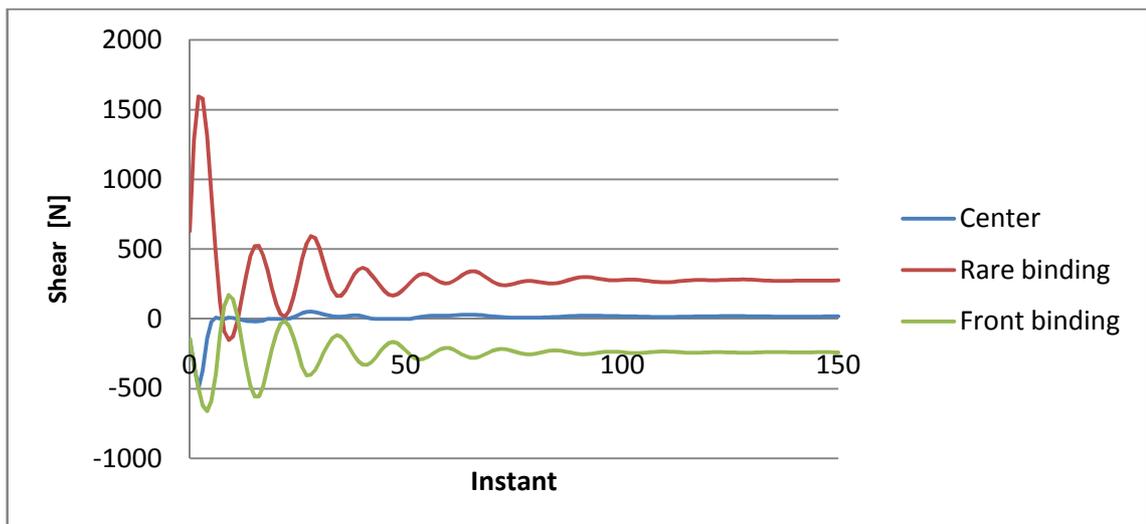


Figura 41 – Esfuerzo de corte a través del tiempo para tres puntos de la tabla

En los gráficos de las figuras 40 y 41 se muestran los resultados de momento flexor y esfuerzo de corte para tres puntos fijos de la tabla: en el centro de la misma y debajo de las posiciones de los pies. Se puede apreciar un pico en la fuerza de corte durante los primeros instantes, que puede ser causante de una delaminación. Si esto ocurre la lámina separada del resto de la estructura podría pandear si es sometida a compresión. El modelo muestra que la lámina mayormente comprimida es la inferior, como era de esperar gracias al análisis de la falla realizado anteriormente

A través de los datos del modelo podemos obtener la deformación en cualquier punto, para el cálculo de la misma se utiliza la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \left( \frac{\mathcal{M}}{b * t * d} \right) * \frac{1}{E}$$

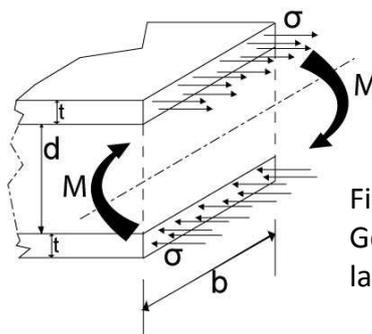


Fig. 42 – Geometría de la tabla.

Donde E y t son la constante de elasticidad y espesor del laminado,  $\mathcal{M}$  es el momento flexor en el punto y b y d son el ancho y espesor del core, como se muestra en la figura 42.

### 5.2.5 Modelo experimental

Para los ensayos experimentales se utilizó una tabla prototipo con distintos materiales para los laminados. El superior es un laminado de tela de carbono bidireccional, con tramado plain, mientras que para el inferior se usó tela de Kevlar, también de tramado plain bidireccional. Para el core se utilizó el material usual: espuma de poliuretano. A esta tabla se le aplicaron dos extensómetros de precisión (serie CEA-06-375UW-350), estos fueron adheridos a la parte inferior de la tabla, ambos sobre eje longitudinal principal, el primero a la altura del centro y el segundo debajo de una de las fijaciones. Además se aplicó una capa de silicona protectora sobre los extensómetros y cables para mantenerlos protegidos.

El calibrado del sistema fue realizado cargando y descargando el centro de la tabla mientras se encontraba apoyada sobre dos caballetes. De esta manera es posible calcular la relación de carga-deformación y el módulo de Young resultante. Para calcular este último parámetro es necesario conocer el valor del momento de inercia de área en las secciones donde actúan los extensómetros, este valor fue obtenido de

un 3D de la tabla que había sido modelada en SolidWorks 2008. La figuras 43-a y 43-b muestran el esquema del proceso de calibrado y los resultados obtenidos respectivamente

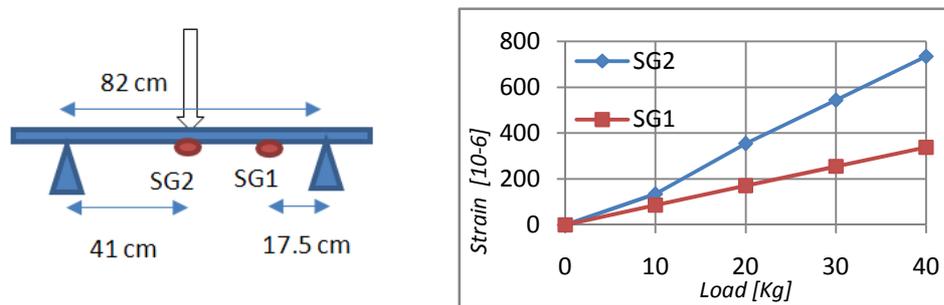


Fig. 43 a, b – Diagrama de calibración y grafico de fuerza-deformación para los extensómetros

El resultado obtenido para el modulo de Young o contante elástica fue alrededor de un 75% del que se esperaba a través del cálculo del mismo analíticamente utilizando los valores característicos de los materiales y adaptándolos con las características del laminado en la tabla. Esta diferencia puede ser explicada por defectos en el proceso de manufactura, que afecta las propiedades mecánicas. Matzkanin y Yolken explican que los defectos típicos en materiales compuestos incluyen: rotura de fibras, micro quiebres, delaminaciones, contaminaciones, deterioro por impacto y huecos. La distribución de Fibras/resina, las ondulaciones en las fibras y la orientación de las mismas también juegan un papel importante en las propiedades microestructurales de los materiales compuestos.

Para la realización de la experiencia final se utilizó un trozo de goma-espuma como fundación, la idea era simular el efecto elástico de la superficie del agua. El proceso de testeo se detalla a continuación: se carga la tabla con pesas calibradas en la posición de las fijaciones. El sistema tabla/pesas se levanta formando un ángulo de 45° con la superficie de gomaespuma para luego dejarla caer libremente impactando contra la fundación. Este proceso se repite para distintas configuraciones de pesos. La figura 44 muestra el esquema del test.

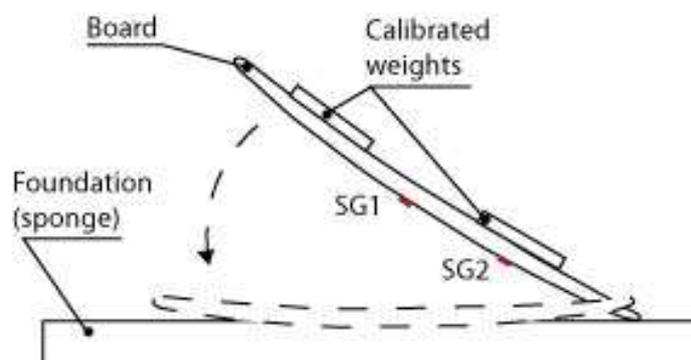


Fig. 44 – Procedimiento experimental

### 5.2.5.1 Resultados:

El gráfico de la figura 45 muestra la señal de los extensómetros como fue adquirida, para una configuración de pesas de 20 Kg. sobre cada fijación. Durante los primeros instantes hay una deformación positiva (laminado inferior sometido a tracción), que corresponde a la situación estática de la tabla sostenida formando un ángulo de 45° con la fundación. Después de esta primera etapa la tabla es dejada en libertad, en el grafico se puede ver como la señal comienza a oscilar sinusoidalmente, el primer y máximo pico durante esta etapa corresponde a un esfuerzo de compresión sobre la lámina inferior. El movimiento alternado de la señal continúa hasta que se estabiliza una nueva etapa estática que corresponde a la tabla recostada sobre la base de gomaespuma, en este caso tenemos una señal negativa.

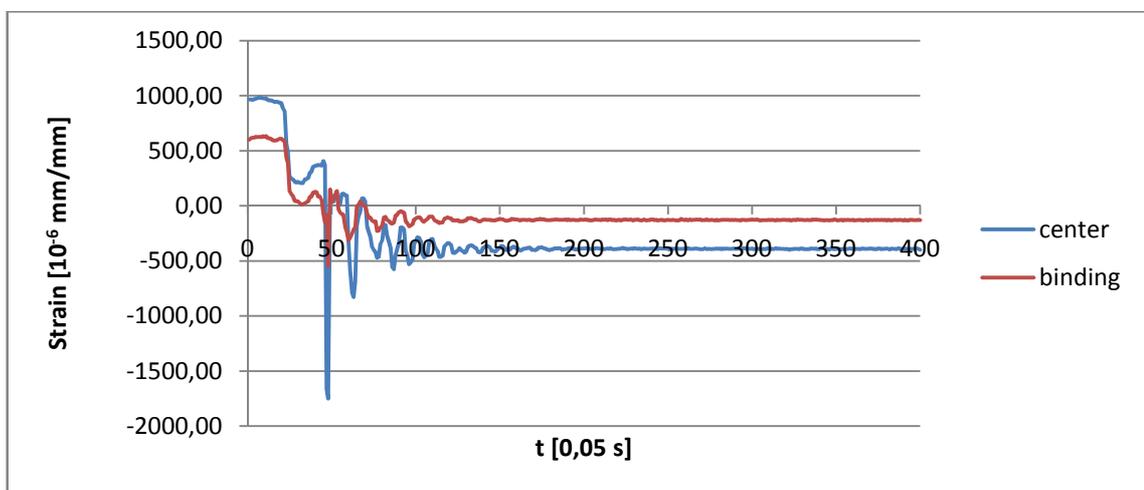


Figura 45 – Señal de extensómetros

La etapa del impacto para el extensómetro central del grafico 45 fue aislada y comparada con la solución arrojada por el modelo. En este caso, por las características del procedimiento experimental, la formula que rige a  $b_2[t]$  fue cambiada por  $b_2[t] = b_{2f} + b_{20}e^{-\gamma_2 t} \text{Cos}[\omega_2 t]$ , de esta manera se logra una mejor aproximación. Los resultados pueden ser vistos en el gráfico de la figura 46. La predicción para el primer pico es buena, después existe un período sin picos en la señal de los extensómetros que podría corresponder a un deslizamiento entre la tabla y la base de gomaespuma y que no es explicada por el modelo. La última etapa del impacto es aceptablemente aproximada por el modelo, así como la constante de amortiguación. Para esta solución se utilizó  $F_f = 400\text{N}$ ,  $b_{1f} = 0,35\text{m}$  y  $b_{2f} = 1,05\text{m}$ , datos que corresponden a la situación final en donde la tabla esta recostada sobre la base.  $F_0 = 2500\text{N}$  fue elegido en orden de aproximar la curva.

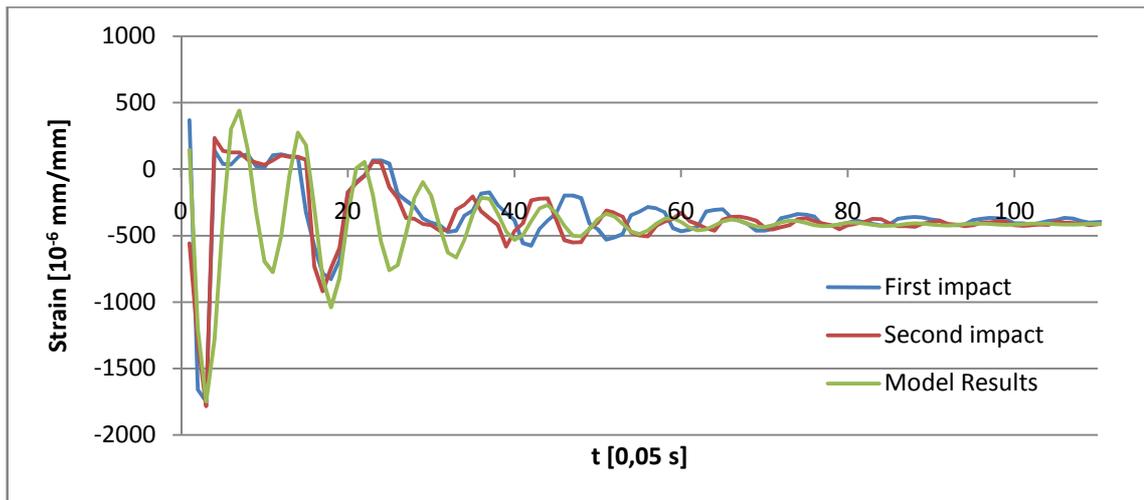


Figura 46 – Comparación entre datos obtenidos experimentalmente y con el modelo

Otra de las configuraciones testada experimentalmente fue poniendo 30 Kg de peso sobre la fijación trasera y 10 Kg sobre la delantera. La energía potencial inicial de este modelo es  $\sim 40\%$  mayor a la que se tenía en la configuración anterior, así que es esperable que el modelo prediga la respuesta del extensómetro cambiando  $F_0$  en la misma proporción y los valores de la situación de convergencia correspondiendo a la nueva situación final en donde la tabla frenara su movimiento luego del impacto reclinada sobre la fijación trasera. El resultado puede verse en el gráfico de la figura 47.

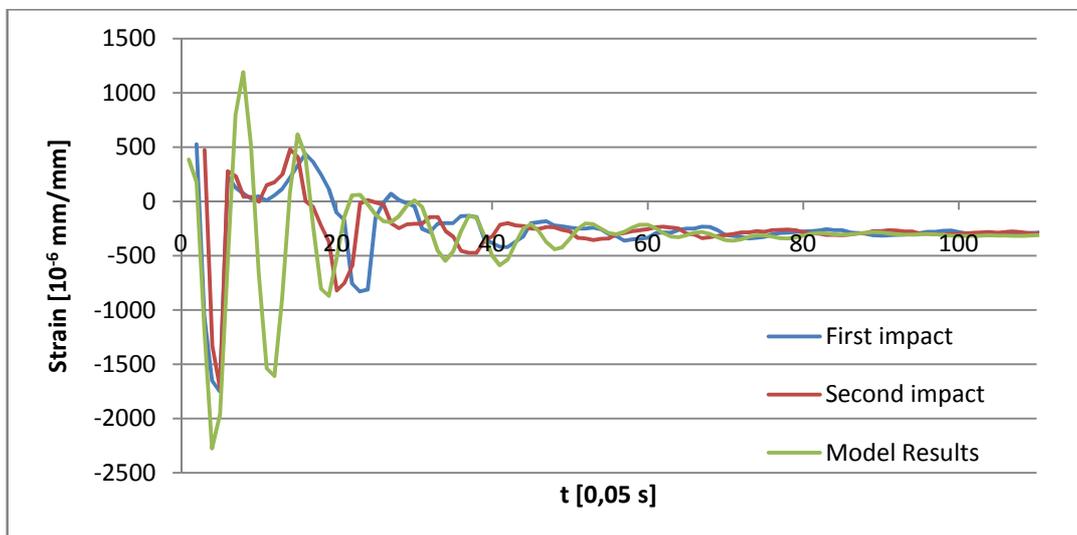


Figura 47 – Comparación entre datos obtenidos experimentalmente y con el modelo

La aproximación para el primer pico y la constante de amortiguación son buenas, pero una vez más tenemos picos que no son explicados por el modelo. De cualquier manera, para fines de diseño lo que nos interesa es el pico máximo, este es el que causará la rotura de la tabla.

Cuando buscamos una solución del modelo utilizando datos reales, suponiendo que tenemos un usuario de  $\sim 75$  Kg que cae desde 4 metros de altura tenemos:  $F_f =$

750N,  $F_0 = 45\text{kN}$ ,  $b_{1f} = 0,2\text{m}$  y  $b_{2f} = 1,3\text{m}$ , donde para el cálculo de la fuerza de impacto inicial se utilizó la conversión en base a la energía inicial explicada anteriormente. En este caso obtenemos un pico de deformación de  $\sim 24000 \text{ mm/mm}$ , lo que es obviamente excesivo. Pero en la situación real hay otras diferencias: la presencia de un usuario sobre la tabla agregaría mucha amortiguación al sistema ya que absorberá una gran parte de la energía en juego inicialmente. En la figura 48 se puede ver la señal de los extensómetros cuando la tabla fue testeada en el laboratorio con un usuario sobre la misma, cayendo desde una baja altura. Se puede apreciar como el primer pico de deformación se ha minimizado enormemente en estas condiciones. Por sobre esto en la situación real tenemos agua como base, y no goma espuma, este es otro parámetro que haría cambiar la constante de amortiguación encontrada en las condiciones que se ha realizado este estudio. Investigaciones futuras podrían consistir en realizar experimentos similares pero con condiciones más cercanas a la realidad.

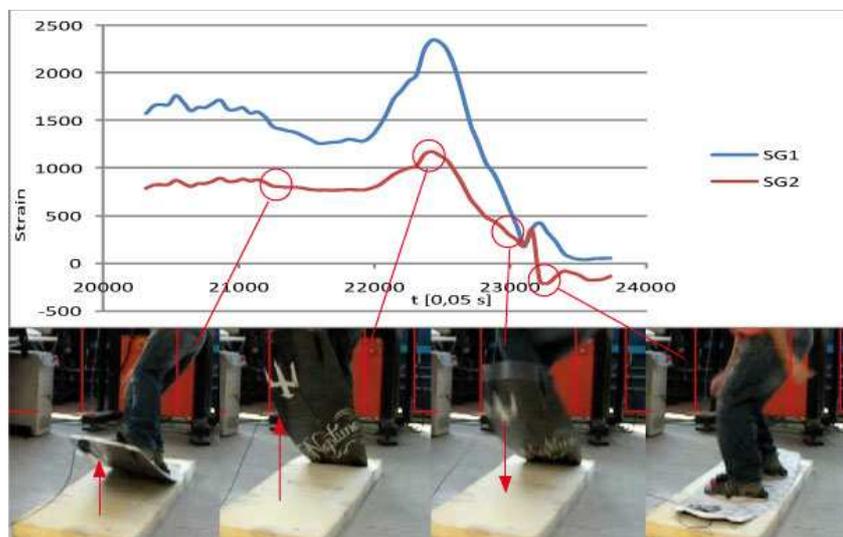


Figura 48 – Resultados de ensayos realizados con un usuario sobre la tabla

Lo que haría a este modelo especialmente interesante en caso de obtener las variables reales es que arroja resultados de los esfuerzos a los que es sometida la tabla, la deformación es calculada a partir de estos datos con las características de la tabla y los materiales. De esta manera se podría estudiar la respuesta de distintos diseños antes de pasar a la realización de prototipos. La búsqueda de los parámetros reales no fue realizada en el presente trabajo, pero para la selección de materiales se han realizado una serie de ensayos de probetas con distintas combinaciones de materiales, el ensayo elegido es de flexión a tres puntos, el mismo con el que habíamos conseguido reproducir la falla al principio de esta sección.

### 5.2.6 Selección de materiales

Como habíamos adelantado, se han realizado ensayos de flexión a tres puntos sobre probetas de tabla fabricadas con distintas combinaciones de materiales. Las

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

probetas son paneles sándwich de 300 mm de longitud, 55 mm de ancho, el espesor del core es de 16 mm y el espesor total depende del material de las láminas.

Los materiales son:

- Para el núcleo:
  - Espuma de poliuretano expandido – Densidad = variable  $\sim 70 \text{ Kg/m}^3$
  - Espuma de PVC – Divinacell H-60
- Para las láminas:
  - Tela de fibra de vidrio-E – Vectorply E-LT 1800 0°/90° biaxial
  - Tela de fibra de Kevlar-49 – Hexcel Plain Fabric Kevlar 352 0°/90° biaxial
  - Tela de fibra de Carbono 3K – Hexcel Plain Fabric Carbon 282 0°/90° biaxial
- En todos los casos se utilizó resina Epoxy.

En el caso de las láminas de carbono/epoxy y Kevlar/epoxy tenemos un espesor total de 0,75 mm, mientras que las láminas de vidrio/epoxy tienen un espesor de 1 mm. La longitud libre entre los soportes (longitud efectiva) es de 122 mm. El instrumento de flexión a tres puntos es mostrado en la figura 49.



Figura 49 – Dispositivo de ensayo de flexión a tres puntos

Para la mayoría de los casos hemos encontrado que el laminado que condiciona la falla es el que está sometido a compresión. En el caso de las probetas con laminado de fibra de vidrio hemos obtenido fallas por rotura de Core, el resto de las probetas han fallado en la lámina comprimida, por de laminación seguida de pandeo o por pandeo e inserción de la lámina en el Core. Los laminados de Carbono y Kevlar son más susceptibles al pandeo por su menor espesor, más allá de que teóricamente sus propiedades mecánicas sean mejores

Los cálculos realizados para la obtención de los diagramas de esfuerzo-deformación en el punto medio de las probetas (donde el momento flexor es máximo) a partir de los datos del test (Fuerza y desplazamiento del dispositivo) son los siguientes:

➤ Para el cálculo de la deformación:

$$M = E * I * \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{E * I}{\rho}$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha * (\rho - d) - \alpha * \rho}{\alpha * \rho} = -\frac{d}{\rho} \rightarrow \frac{1}{\rho} = -\frac{\varepsilon}{d}$$

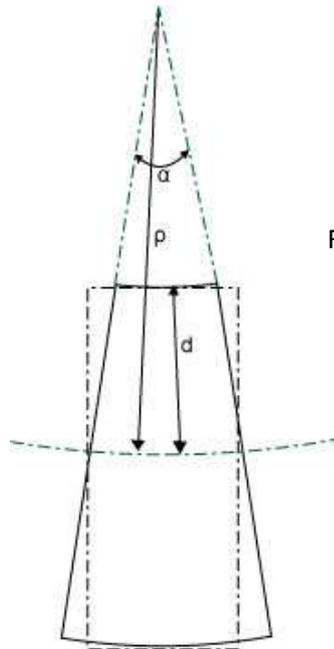


Fig. 50 – flexión de una viga

Del modelo clásico de flexión a tres puntos sabemos que:

$$y_{\max} = \frac{P * L^3}{48 * E * I}$$

Y:

$$y(x) = \frac{P}{48 * E * I} (4x^3 - 3L^2x) = \frac{y_{\max}}{L^3} (4x^3 - 3L^2x)$$

Donde  $y_{\max}$  es el dato del desplazamiento obtenido del ensayo, por lo tanto:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{\max}}{L^3} (24x) = \frac{1}{\rho} = -\frac{\varepsilon}{d} \rightarrow \varepsilon = -\frac{y_{\max}}{L^3} (24x)d$$

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

$$\epsilon_{(L/2)} = -\frac{y_{\max}}{L^3} \left( 24 \frac{L}{2} \right) d = -\frac{y_{\max}}{L^2} 12d$$

➤ Para el cálculo del esfuerzo:

$$(b * t) * \sigma = F_i$$

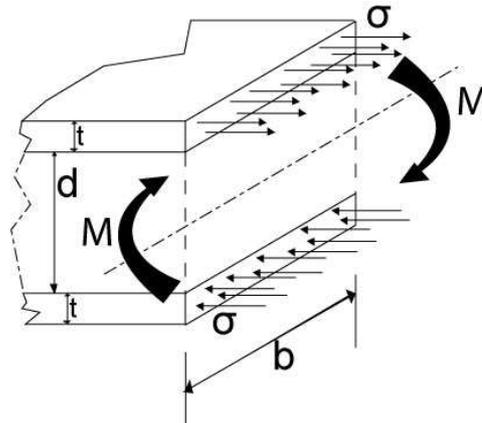


Fig. 51 –  
Esfuerzos  
internos en una  
viga sándwich

$$2 F_i * \frac{d}{2} = M_i$$

El momento flexor interno está actuando para compensar al externo de manera que el sistema se mantenga en equilibrio, por lo tanto:

$$M_i = M_e$$

$$Y M_e = \frac{F_e}{2} * \frac{L}{2}$$

Donde  $F_e$  es la fuerza ejercida por el dispositivo de ensayo, cuyo valor es obtenido del ensayo. Finalmente:

$$\sigma_{(L/2)} = \frac{F_e * L}{4 * b * t * d}$$

El gráfico de la figura 52 muestra los resultados de esfuerzo-deformación para todas las probetas. Es evidente que la lámina que condiciona los resultados es la que está esforzada a compresión. Las curvas pueden ser agrupadas en tres categorías: Carbono a compresión, Kevlar a compresión y Vidrio a compresión, los mejores resultados se obtuvieron con la fibra de vidrio, cuyo espesor es mayor que el del resto de los materiales. En la siguiente sección se detallarán los resultados obtenidos para cada combinación de materiales.

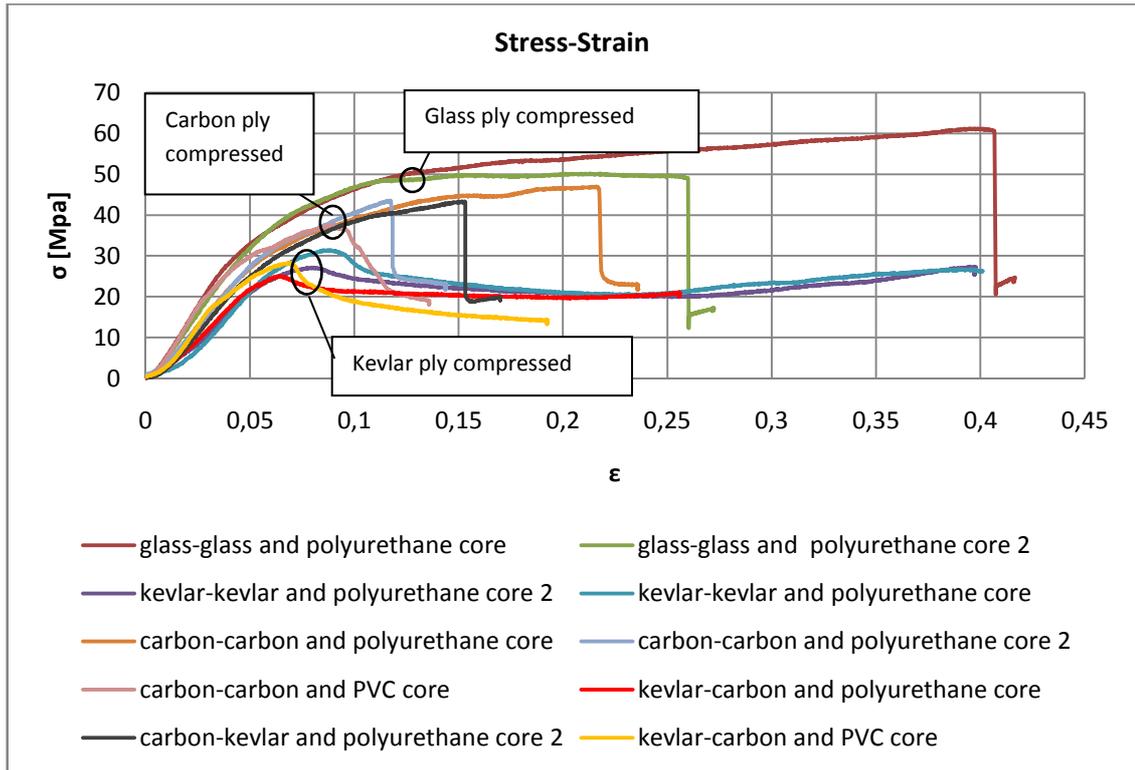


Grafico 52 – curvas esfuerzo-deformación para las probetas ensayadas a flexión en tres puntos

### 5.2.6.1 Detalles de ensayos:

Se presentan los resultados seguidos del grafico de Fuerza-Deformación e imágenes del estado final de las probetas correspondientes.

1 -

- Construcción de probeta: Alma de poliuretano y láminas de Fibra de Vidrio-E (espesor total = 17mm, espesor del laminado en seco = 0,58mm y porcentaje de resina ~ 50%)
- Tipo de rotura: rotura del alma a 45°
- Fuerza de rotura: 1,4KN en el primer caso y 1,14KN en el segundo.

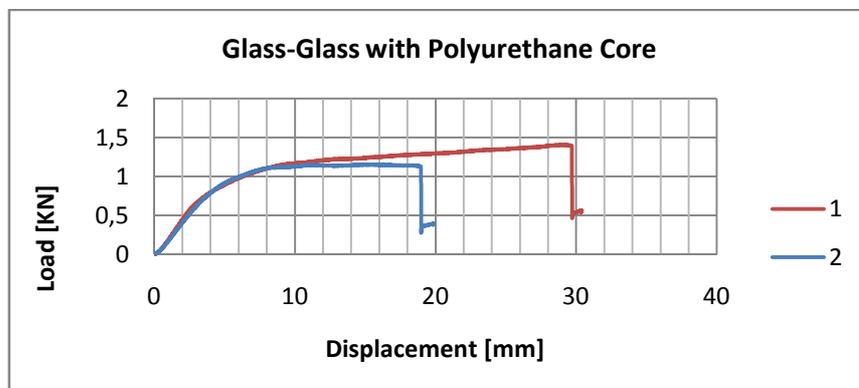
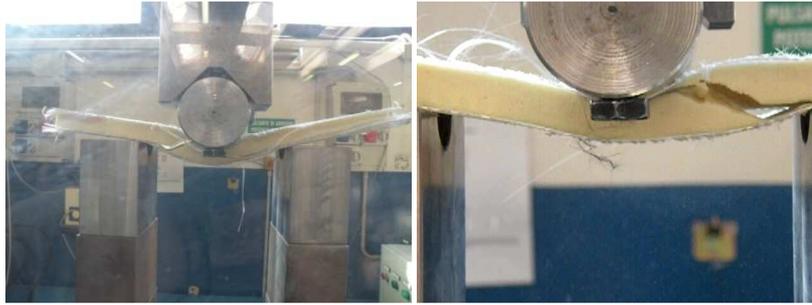


Fig. 53 – Esfuerzo-deformación para las probetas con láminas de Fibra de vidrio y alma de poliuretano

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard



Figuras 54 a, b – Estado final de las probetas 1 y 2 (falla por rotura del alma)

2-

- Construcción de probeta: Alma de poliuretano, láminas de Kevlar/epoxy (espesor total = 16,5 mm, espesor del laminado en seco = 0,25mm, porcentaje de resina ~ 30%)
- Tipo de rotura: falla por pandeo de la lámina sometida a compresión seguida de indentación de la misma en la espuma.
- Fuerza de rotura: Las fallas ocurrieron ante una fuerza de 0,62 kN para la primera prueba y 0,72 kN para la segunda.

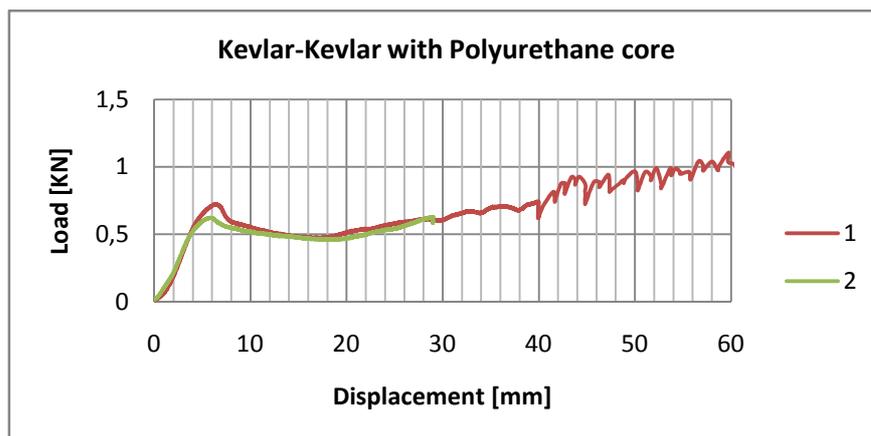


Chart 55 – Grafico Fuerza-desplazamiento par alas probetas con laminados de Kevlar y alma de poliuretano

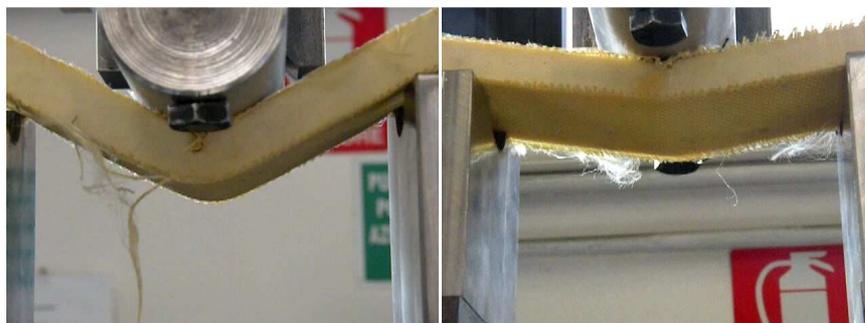


Figure 56 – Probetas luego del ensayo, rotura por pandeo de la lámina a compresión.

3-

- Construcción de probeta: Alma de poliuretano, láminas de Carbono/epoxy (espesor total = 16,5 mm, espesor del laminado en seco = 0,22mm, porcentaje de resina ~ 30%)

- Tipo de rotura: falla por pandeo de la lámina sometida a compresión seguida de indentación de la misma en la espuma.
- Fuerza de rotura: Las fallas ocurrieron ante una fuerza de 1 kN y 1,1 kN

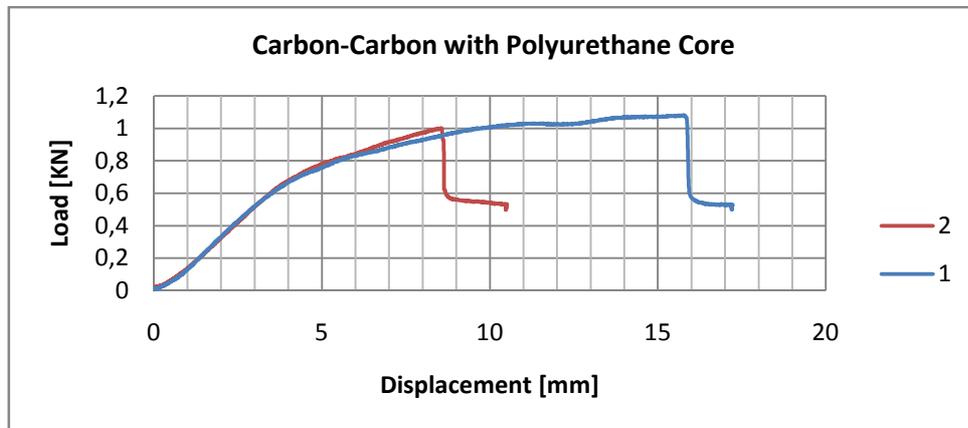


Figura 57 – Grafico de Fuerza desplazamiento para las probetas con alma de poliuretano y láminas de Fibra de Carbono

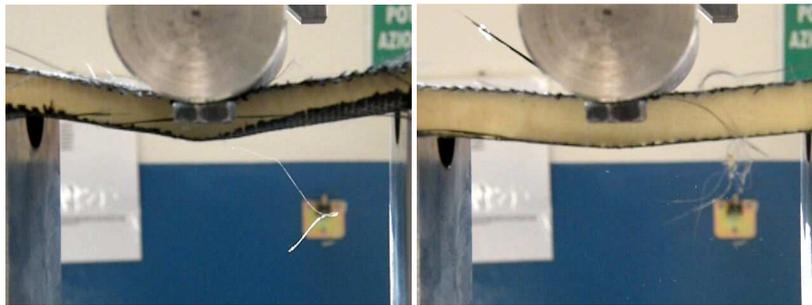


Figura 58 – Probetas luego del ensayo, rotura por pandeo de la lámina a compresión

4-

Construcción de probeta: Alma de PVC, láminas de Kevlar/epoxy (espesor total = 16,5 mm, espesor del laminado en seco = 0,25mm, porcentaje de resina ~ 30%)

Tipo de rotura: falla por pandeo de la lámina sometida a compresión seguida de delaminación de la misma.

Fuerza de rotura: Las falla se produjo ante una fuerza de 0,85 kN.

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

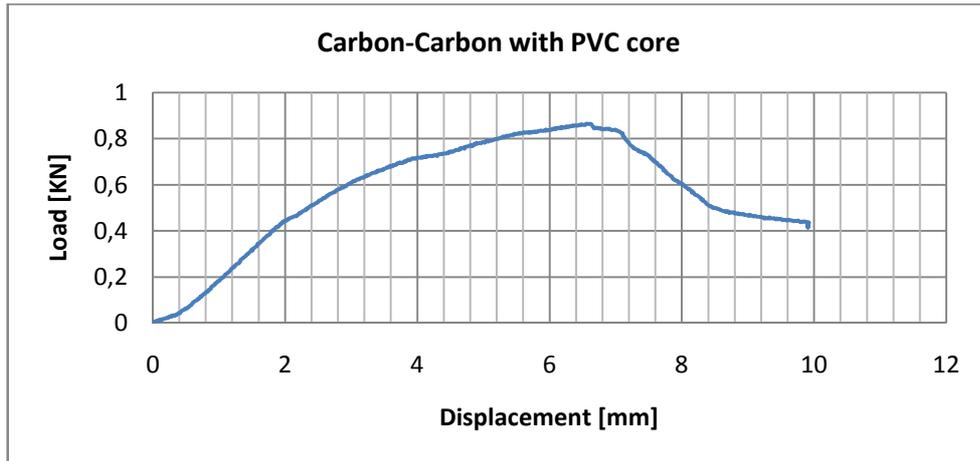


Figura 59 – Grafico de esfuerzo-desplazamiento para probeta con láminas de Fibra de Carbono y alma de PVC



Figura 60 – Probeta luego de la aparición de la rotura (pandeo de la lámina a compresión)

5-

- Construcción de probeta: Alma de poliuretano, lámina superior (sometida a compresión) de Kevlar/epoxy (espesor del laminado en seco = 0,25mm, porcentaje de resina ~ 30%), lámina inferior (sometida a tensión) de Carbono/epoxy (espesor del laminado en seco = 0,22 mm, porcentaje de resina ~ 30%)
- Tipo de rotura: falla por pandeo de la lámina sometida a compresión seguida de indentación de la misma en el alma.
- Fuerza de rotura: La falla se produjo ante una fuerza de 0,58 kN.

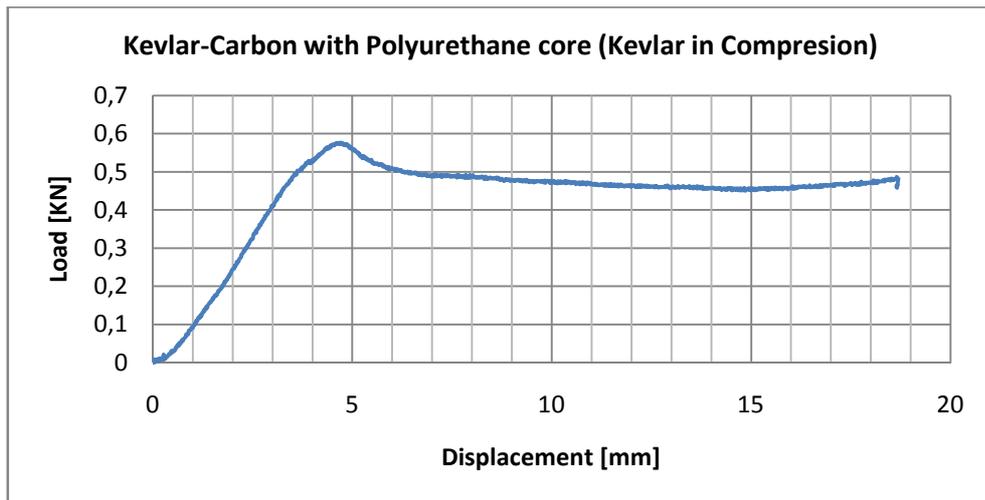


Figura 61 – Grafico de Fuerza-desplazamiento para la probeta con laminados de Carbono y Kevlar (el Segundo sometido a compresión) y alma de poliuretano



Figura 62 – Probeta luego de la aparición de la falla

6-

- Construcción de probeta: Alma de poliuretano, lámina superior (sometida a compresión) de Carbono/epoxy (espesor del laminado en seco = 0,22mm, porcentaje de resina ~ 30%), lámina inferior (sometida a tensión) de Kevlar/epoxy (espesor del laminado en seco = 0,25 mm, porcentaje de resina ~ 30%)
- Tipo de rotura: falla por pandeo de la lámina sometida a compresión seguida de delaminación de la misma.
- Fuerza de rotura: La falla se produjo ante una fuerza de 1 kN.

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

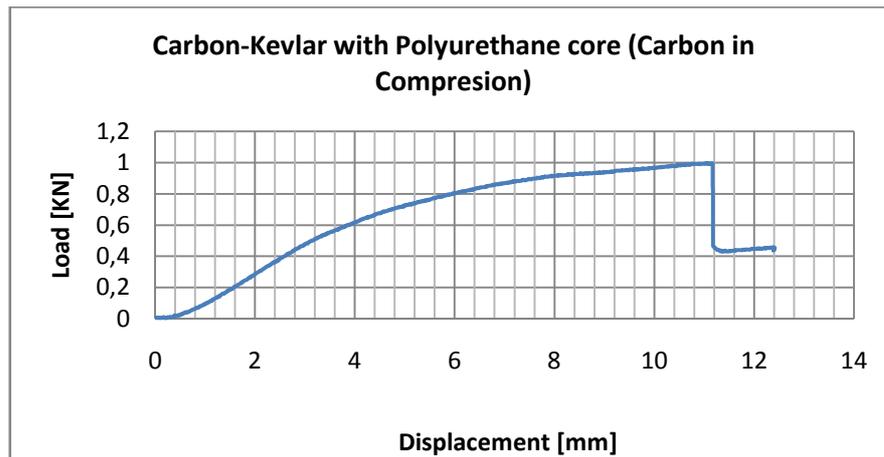


Figura 63 – Grafico de Fuerza-desplazamiento para la probeta con laminados de Kevlar y Carbono (el Segundo sometido a compresión) y alma de poliuretano



Figura 64 – Estado final de la probeta, rotura por pandeo y delaminación de la lámina de carbono

7-

- Construcción de probeta: Alma de PVC, lámina superior (sometida a compresión) de Kevlar/epoxy (espesor total = 16,5 mm, espesor del laminado en seco = 0,25mm, porcentaje de resina ~ 30%), lámina inferior (sometida a tensión) de Carbono/epoxy (espesor total = 16,5 mm, espesor del laminado en seco = 0,22 mm, porcentaje de resina ~ 30%)
- Tipo de rotura: falla por pandeo de la lámina sometida a compresión seguida de indentación de la misma en el alma.
- Fuerza de rotura: Las falla se produjo ante una fuerza de 0,65 kN.

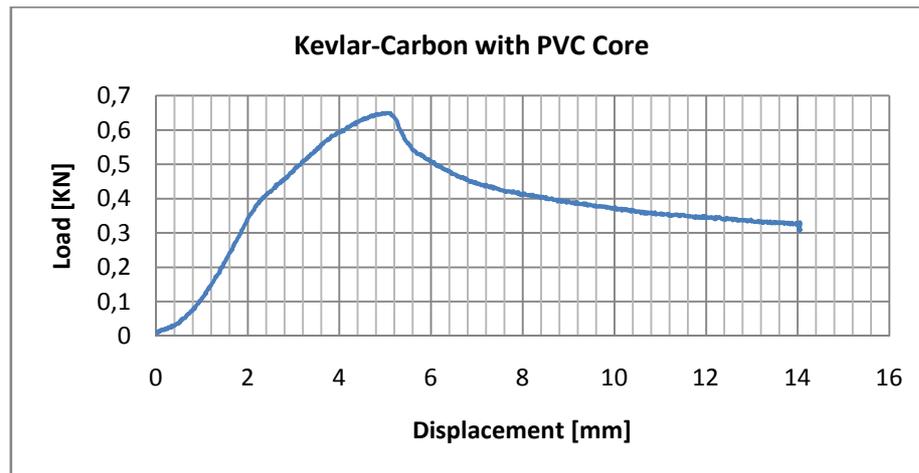


Figura 65 – Grafico de Fuerza-desplazamiento para la probeta con laminados de Carbono y alma de PVC



Figura 66 – Estado final de la probeta, rotura por pandeo de la lámina sometida a compresión

### 5.2.7 Conclusiones

Se ha analizado la falla más comúnmente vista en las tablas de Wakeboard, se ha logrado reproducirla en el laboratorio y se ha desarrollado un modelo analítico que explique las cargas a las que la tabla es sometida durante el aterrizaje luego de un salto, aunque las variables de este modelo para la situación real quedan por investigarse. Se han realizado experiencias de laboratorio utilizando una tabla con extensómetros sobre ella y los datos obtenidos se han comparado con los que presenta el modelo obteniendo una aproximación aceptable. Además se han realizado tests de flexión a tres puntos sobre probetas fabricadas con diferentes materiales.

Las conclusiones que podemos obtener de este estudio son:

- El laminado inferior de las tablas es sometido a un pico de compresión durante los primeros instantes luego de un salto. La compresión del laminado puede llevar a una falla por pandeo seguido de delaminación, esta falla puede ser controlada mediante la utilización de un laminado de mayor espesor. La utilización de materiales con mejores propiedades mecánicas como Fibra de Carbono o Kevlar no es útil en este sentido, sería tentador utilizarlos para disminuir el peso del producto ya que con un menor espesor se obtiene una rigidez similar, pero la disminución

del espesor aumenta la probabilidad de pandeo y por lo tanto de falla, además son materiales más costosos.

- Existe evidencia de que la lámina superior está sometida a un esfuerzo menor durante el impacto con el agua y por lo tanto podría ser cambiada para obtener un producto de menor peso, aunque deberíamos tener en cuenta la presión a la que este laminado es sometido por el contacto directo con las fijaciones. La disminución del espesor podría llevar a la deformación del laminado debajo de la posición de los pies. En este caso podría ser posible la utilización de materiales con mejores propiedades mecánicas para evitar la falla.

Para finalizar, se proponen distintos caminos para lograr el objetivo inicial de obtener una tabla de menor peso. Del ensayo con las probetas hemos visto que la espuma de PVC responde de una manera muy similar a la espuma de poliuretano tradicional. Utilizar este material tiene la ventaja de que es más liviano, su densidad es un 25% menor. La desventaja es que es más costoso el insumo y el proceso productivo debería cambiarse, ya que con este material no se puede trabajar inyectándolo en la matriz. Se debe modelar usando lija o Dremel de alta velocidad. Con este mismo proceso también se puede trabajar otro material: el honeycomb core de aluminio o polipropileno, cuya densidad es aún menor que la espuma de PVC pero su costo es mayor.

Otra posibilidad es cambiar el laminado, se puede trabajar con telas de fibra de vidrio con resina pre-impregnada (prepregs), con lo que se controla la cantidad de resina, el compuesto de mayor densidad en el laminado. La dificultad en este caso es que el prepreg debe ser almacenado a baja temperatura y como no existen proveedores de este material en Argentina se deberán hacer encargos al exterior. El precio de los mismos disminuye con el volumen de compra pero grandes cantidades complican aún más su almacenamiento.

## VI.- Conclusiones

---

Han sido realizadas dos partes importantes del diseño del producto. En una primera sección hemos comenzado a partir de un folio en blanco y hemos llegado hasta la presentación y prueba de un prototipo funcional. Aquí se ha prestado especial atención a la forma de trabajo de la rama de productos, en donde se buscan influencias en deportes hermanos para la generación de nuevos artículos con los que se logran nuevas actividades que brinden al usuario sensaciones nunca antes experimentadas. En la segunda sección hemos comenzado de un producto terminado y hemos realizado un análisis de ingeniería con el objetivo de disminuir su peso y lanzar un producto mejorado. Los resultados y conclusiones de cada una de las partes han sido dados al final de cada sección.

Las posibilidades en futuras investigaciones se han ido mencionado a lo largo de la tesis. La primera parte queda evidentemente abierta para ser continuada hasta la obtención de un producto terminado, el diseño de la marca, la economía de la empresa, etc. La segunda parte también puede ser continuada, no solo en los problemas que han quedado abiertos como las variables del modelo para la situación real. Se pueden hacer también pruebas sobre otros materiales, algunos de ellos presentados entre las conclusiones. Además se pueden realizar optimizaciones en otros aspectos del diseño como puede ser por ejemplo el rendimiento hidrodinámico de su forma o la optimización del proceso productivo.

El objetivo del proyecto en general era atravesar por el proceso de diseño y los resultados son satisfactorios, si bien el camino que queda por recorrer es largo. Se ha puesto el enfoque en la creatividad y en el análisis del problema de un punto de vista ingenieril. Esto es una novedad en esta rama de productos y le da un nuevo marco al desarrollo de nuevas tablas.

Además, como resultado del trabajo, se ha trabajado y desarrollado información acerca de materiales compuestos, en especial de estructuras sándwich. Las conclusiones pueden ser extrapoladas a otro tipo de productos.



## VII.- Influencias y Bibliografía

---

Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger - Diseño y desarrollo de productos Enfoque multidisciplinario. Editorial McGraw-Hill. 2007. Traducido de la tercera edición en inglés de Product Design and Development, 2004.

Catedra DP – Guia del trabajo practico ToPoPo. 2008. [www.dpweb.com.ar](http://www.dpweb.com.ar)

Umberto Eco - Como se hace una tesis. Version Castellana de Lucia Baranda y Alberto Claveria Ibañez. Editorial Gedisa. 2001

DIAB Group - Divinicell H-Grade Technical manual. [www.diabgroup.com](http://www.diabgroup.com)

DIAB Group – DIAB Sandwich Concept. [www.diabgroup.com](http://www.diabgroup.com)

Hexcel composites - HexWeb Honeycomb Sandwich design technology. 2000

Patricio Barciela – Innovación tecnológica en la fabricación de tablas de surf. Proyecto final de ingeniería industrial ITBA. 2008

David Winzelberg - The Growing Lure Of Wakeboarding. Publicado por The New York times. 22 de Junio de 1997.

DuPont – Kevlar Aramid Fiber Technical Guide. [www.kevlar.com](http://www.kevlar.com)

Wakeboarding Magazine – Media Kit. Datos para auspiciantes. [www.wakeboardingmag.com](http://www.wakeboardingmag.com)

Department of defense USA – Composite Materials HandBook. 1999

Richard M. Christensen – Failure criteria for anisotropic fiber composite materials. failurecriteria.com (2008)

Daniel Gay - Composite materials. CRC Press LLC (English version, 2003)

N. Tada & Y. Hirano - Simulation of a turning ski using ice cutting data. Sports Engineering (1999)

N. Scott, T. Yoneyama, H. Kagawa & K. Osada - Measurement of ski snow-pressure profiles. Sports Engineering (2007)

S.M. Brennan, L.P. Kollár & G.S. Springer - Modelling the mechanical characteristics and on-snow performance of snowboards. Sports Engineering (2003)

K. W. Buffinton, S. B. Shooter, I. J. Thorpe & J. J. Krywicki – Laboratory, computational and field studies of snowboard dynamics. Sports Engineering (2003)

En la búsqueda de innovaciones en el diseño de tablas de Wakeboard

K. Hosokawa, S. Kawai & T. Sakata - Improvement of damping property of skis. Sports Engineering (2002)

N. Tada & Y. Hirano - In search of the mechanics of a turning alpine ski using snow cutting force measurements. Sports Engineering (2002)

S. Kawai, H. Otani & T. Sakata – Coupled motion of ski and elastic foundation under ski control. JSME International Journal (2003)

Qin, Z., Batra, R.C. – Local slamming impact of sandwich composite hulls, Int. J. Solids Struct. (2008)

Matzkanin and Yolken – Article “Techniques for the nondestructive evaluation of polymer matrix composites” published by AMMTIAC Quarterly, Volume 2, Number 4