

## **Innovación tecnológica en la fabricación de tablas de surf**

**Barciela, Patricio.**

**Tutor: Filip, Federico**

**Proyecto final Ingeniería**

**Industrial (grado) -**

**Instituto Tecnológico de**

**Buenos Aires, Buenos**

**Aires, 2008**

### Introducción:

La indescriptible sensación que el surf provoca ha llevado a muchos a dedicar su vida a mantener y desarrollar aun más este deporte. La búsqueda de la ola y la tabla perfecta, la interacción hombre-naturaleza y la sensación de formar parte de la energía entregada por el mar, son parte de la experiencia.

A su vez esto ha dado paso a una tradición de trabajo artesanal, guardada en secreto por unos pocos, trasladada de generación en generación y mantenida de forma casi inalterable por más de 50 años. ¿Cómo se hace entonces para generar una innovación en tan peculiar panorama?

Habiendo tantas definiciones de innovación como libros hay escritos del tema, y no siendo la intención de este proyecto sumar a las mismas, diré

que para acercarnos a elaborar una respuesta tomaré a la innovación como un camino.

Este camino será recorrido a través de la unión de elementos que tal vez separados no guarden relación, pero que al juntarse exploten en un sin fin de ideas y estas ideas se materialicen en conocimiento. El resultado de este proyecto no será una invención. Galileo Galilei no inventó el telescopio, simplemente fue el primero que lo apuntó hacia el cielo, desatando la curiosidad de muchos otros, estableciendo una metodología de estudio y una fuente de conocimiento.

En el transcurso de esta ruta muchos serán los invitados a participar, recorriendo juntos parte del trayecto, aportando y aprendiendo a la vez, interactuando desde su disciplina y llevándose consigo una pequeña pieza de esta filosofía de trabajo.

De eso trata este proyecto, de conectar conceptos con un objetivo claro, mejorar la singular experiencia del surf.



## *detrás del sol y el agua*

Con la idea de introducir al lector al mundo del surf esta primera etapa está dedicada a contar de manera sencilla y práctica el actual estado del arte en la fabricación de tablas. A modo de guía se utiliza un modelo de análisis de empresas creado por el Centro Metropolitano de Diseño de la Ciudad de Buenos Aires, especialmente enfocado a quienes generan valor a través del diseño industrial. El sol, el agua, el clima templado y las jornadas de surf dirán presente, sin embargo para que eso sea posible se necesita el trabajo de muchos que están detrás y que dedican su vida para que este deporte mejore día a día. (En la imagen la hoy desaparecida ola de “El Torreón”, Mar del Plata-Argentina) Fuente: *el surfero*.

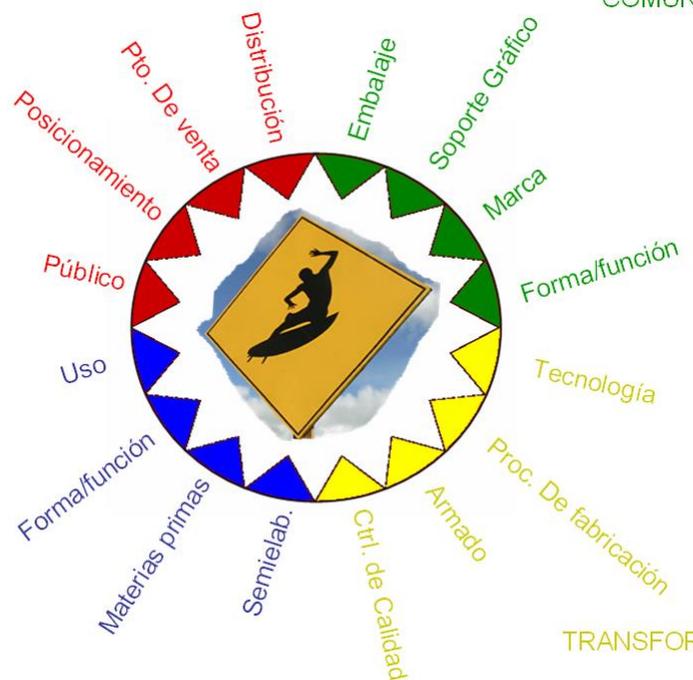
### ***Etapa 1 - Surf, la industria***

CONSUMO

COMUNICACION

MATERIAL

TRANSFORMACION



El modelo IMDI es una herramienta utilizada para el análisis de pequeñas empresas. Por medio de presentaciones de casos prácticos y a través de una serie de pasos, la empresa se estudia desde distintas perspectivas. Con el resultado de estos estudios se puede determinar la situación actual de las empresas en el mercado. La herramienta busca destacar aspectos de innovación, ya sea por medio del conocimiento de procesos, nichos, materiales, etc. El cuadro representa la primer parte del análisis, en donde se presenta el producto principal y se segmenta a todas las áreas y aspectos involucrados en la creación del mismo.

Las cuatro particiones sirven para definir los aspectos globales del producto: los materiales, su transformación, el consumo y la comunicación por parte de los fabricantes. Cada uno de estos se subdivide en los elementos principales que describen dichas áreas.

Dado que este proyecto tiene un alcance global e independiente de cualquier empresa, el modelo será

aplicado no a un fabricante en particular sino que se utilizará para el análisis de producto, destacando en su mayoría aspectos a nivel cualitativo tanto en el mercado local como en el exterior.

Las áreas pueden agruparse en dos hemisferios, consumo y comunicación por un lado, materiales y transformación por el otro, analizando primero la parte superior.

Elementos como marca, embalaje, posicionamiento y punto de venta, están más ligados a conceptos de *marketing* siendo influenciados de cierta forma por el mercado de la moda y las tendencias. Sin embargo, el mercado de tablas tanto local como internacional se maneja con códigos muy particulares. La fabricación artesanal y “a medida” se presenta casi como una constante en la elección de compra de una tabla. Los distintos fabricantes utilizan generalmente la misma materia prima (bloques de espuma de poliuretano de un mismo distribuidor) por lo que su valor agregado está dado por su propia marca, en la mayoría de los casos sus propios apellidos, la que a su vez se sustenta en los años de experiencia del *shaper*<sup>1</sup>.

Las grandes marcas del surf, dedicadas en su mayoría a la venta de indumentaria pueden vender tablas, pero éstas sólo tendrán valor para el cliente si están firmadas por un determinado *shaper*. Si una marca como *Quiksilver*<sup>2</sup> decide importar a Australia un pedido de tablas chinas, fabricadas en serie, con tecnología de punta, materiales de “cierta” calidad pero sin firma alguna, por más que coloque su logo es muy probable que no logre venderlas. El mercado de tablas actualmente está dominado por los fabricantes locales de cada región y el ingreso que éstas reportan no representa ganancias para las empresas grandes. Para estos fabricantes la ecuación de ganancia se basa en diseño, marca, fabricación en países de mano de obra de bajo costo, reducción de costo de transporte y una buena política de distribución. El 90% o más de las personas que utilizan ropa de surf nunca entraron al agua con una tabla y probablemente nunca lo hagan.

---

<sup>1</sup> Se refiere a la persona que da forma (del inglés *shape*) a la

tabla mediante el desbaste de material.

<sup>2</sup> Marca australiana de indumentaria para surf, con amplia participación como auspiciante en los eventos de tabla.

Marcas como Nike o Adidas han intentado acercarse alguna vez al mundo del surf con resultados poco satisfactorios.

Esto deja a la luz varias conclusiones. Los aspectos de comunicación y consumo respecto de las tablas son definidos por los pequeños o medianos fabricantes locales y su propia marca. Lo referente a embalaje, distribución, punto de venta y posicionamiento responde al lineamiento artesanal y por lo tanto no presenta elementos susceptibles de innovación para este proyecto.

Del lado opuesto se encuentra el hemisferio conformado por los materiales y su transformación, respondiendo a conceptos más cercanos a la ingeniería como los procesos y el diseño. En la descripción del punto anterior se mencionó el hecho de que los fabricantes se caracterizan por aspectos prácticamente artesanales, esta característica se traslada también a los métodos de construcción y diseño.

Podríamos comparar el trabajo de un *shaper* con el de un carpintero dedicado a fabricar muebles en su taller, en una región

determinada. Esta persona abastece un público local y posiblemente a una serie de viajantes que, recomendados por algún otro cliente, encargan una serie de productos para llevarlos a su lugar de origen. En general los métodos los ha aprendido mediante un oficio y cada mueble tiene el sello y firma personal grabados. El no utilizar complicadas herramientas de trabajo como tornería de control numérico, se basa en dos hechos particulares, por un lado los niveles de su producción no tienen una escala que sustente esa inversión y por el otro esto le ayuda a mantener su valor agregado artesanal y de “pieza única”.

Estas mismas características podrían explicar el estancamiento en el desarrollo de conocimiento en lo que refiere al diseño de tablas. El método de prueba y error como único motor de desarrollo y la utilización de los mismos materiales por más de 50 años son prueba de que no se ha hecho mucho al respecto. Todos los *shapers* buscan claramente superarse y mejorar sus técnicas, sin embargo los fundamentos técnicos se reducen a unos pocos que han incursionado en el estudio de las tablas desde un punto de vista de ingeniería.

Los pocos reportes y estudios existentes datan de fines de los años 60, no fue hasta hace algunos años atrás que investigadores dedicados a la práctica de este deporte decidieron generar estudios para dar luz de conocimiento a la industria y renovar el estado del arte.

El llamado estancamiento está encabezado por el uso de materiales que el resto de las industrias, ya sea por disposiciones legales o por políticas ambientales han puesto en desuso. Las espumas de poliuretano y poliestireno, las resinas tanto poliéster como epoxy y la fibra de vidrio, no son nada amigables ni con el trabajador ni con el medio ambiente.

Parte de esto puede atribuirse a un monopólico proveedor mundial, quién tras muchos años de experiencia, logró posicionarse como el mayor referente de venta de espumas para fabricación de tablas de surf del mundo. Esta persona llamada Gordon Clark, dueño de *Clark Foam* California, desarrolló

espumas basadas en el uso de TDI<sup>3</sup> abasteciendo por varias décadas al mercado internacional. A fines del 2005 y sin previo aviso cerró sus puertas, generando un verdadero caos en la industria.

A entender del autor esta decisión disparó una de las mejores oportunidades para quienes se dedican a la fabricación de tablas. Aquellos “temerarios” que venían trabajando en nuevos desarrollos, buscando nuevas alternativas y mejores materiales, salieron a la luz para abastecer rápidamente un mercado en crisis. Las nuevas alternativas y el gran ruido provocado por el cierre de *Clark* reabrieron viejas discusiones, dando cuenta de la real magnitud del atraso de la industria respecto a otras no muy lejanas, como ser el kite surf, el windsurf y el snowboard.

| Denominación                | Composición   | Recubrimiento                    | Resina    |
|-----------------------------|---|----------------------------------|-----------|
| Madera (Wood)               | Madera maciza/núcleo hueco/ núcleo de espuma rígida | Balsa ( <i>ochroma lagopus</i> ) | Poliéster |
| Espumas rígidas (FOAM core) | Poliuretano TDI                                     | Fibra de vidrio                  | Poliéster |
|                             | Poliuretano MDI                                     | Fibra de vidrio                  | Poliéster |
|                             | Poliestireno Expandido (EPS)                        | Fibra de vidrio                  | Epoxy     |
|                             | Poliestireno Extruido (XPS)                         | Fibra de vidrio                  | Epoxy     |
| Núcleo hueco (hollow core)  | Hueca   | Fibra de carbono                 | Epoxy     |

Tabla 1-1 “Mapa actual de materiales” (Investigación propia)

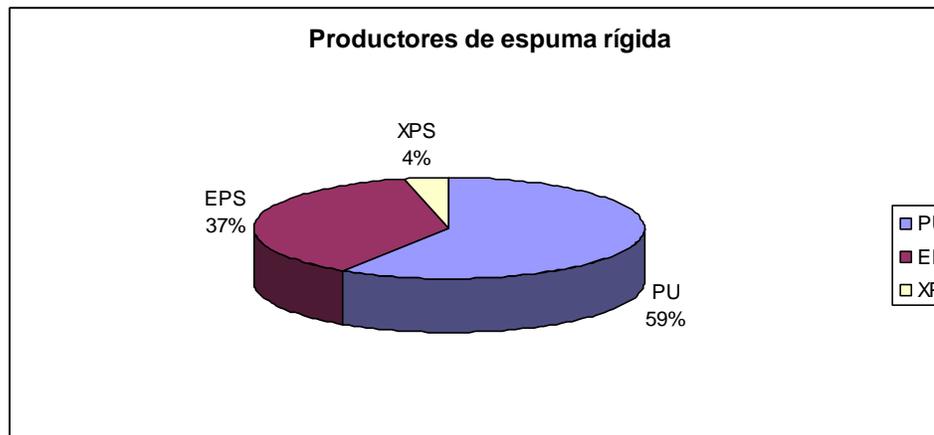


Gráfico 1-1 “Productores de espuma (blanks)” (Fuente: Surf Industry Manufacturers Association. SIMA)

A partir de la tabla mostrada arriba se hace un recuento de los materiales usados actualmente para la

<sup>3</sup> TDI (Toluen diisocianato), este químico genera vapores nocivos

compuestos principalmente por tolueno

fabricación de tablas. Si lo comparamos con la distribución de mercado podemos ver que el poliuretano en sus distintas formas sigue siendo el material predominante a pesar de no ser la única opción.

La comparación de un *shaper* con un carpintero a nivel negocio, se repite a la hora de las técnicas de trabajo y su herramienta. Cepillos eléctricos, regletas, escuadras y lijas son los preferidos a la hora de crear una tabla. Un *shaper* experimentado puede tardar de 5 a 9 horas para la confección de una tabla desde la espuma en bruto hasta su forma final. Luego vendrán las etapas de resina y fibra de vidrio, sin embargo ese trabajo es más rutinario. La calidad de la tabla estará definida en gran parte por las formas logradas en la primera etapa de trabajo.



Imagen 1-1 “Ejemplos de herramienta manual” (Gentileza Shapers Australia)

La gran estrella de la transformación de materiales es sin duda la máquina de control numérico. Sin embargo, como se mencionó, generalmente los productores locales no poseen el volumen suficiente para amortizar la inversión en este tipo de maquinaria. A su vez la percepción de valor agregado por parte del cliente no es tal, ya que el uso de la máquina reemplaza una de las etapas más artesanales de la fabricación de las tablas, el *shaping*. De esta forma el “customizado” deja de existir con la consecuente pérdida de su valor tanto de calidad como de pertenencia. Algunos fabricantes con grandes volúmenes (especialmente en Australia y Estados Unidos) han logrado incorporar CNC y debido al peso de su marca en la tabla, han podido mantener la percepción de calidad en sus productos.

A la vez, estos países caracterizados por altos costos de producción local, han luchado contra la entrada de artículos procedentes de China y otros países orientales, con marcada diferencia de precio. A nivel local el mercado se encuentra abastecido por sólo dos productores, cada uno con diferentes líneas de producto. Por un lado uno es el abanderado del TDI y el otro del MDI y ambos exportan sus productos a países de América del Sur (especialmente Brasil y Perú).

*de valor agregado* al producto.

*Educar al cliente* es parte de mejorar su experiencia. El mantener en “secreto” las características de los productos no es una buena política.

Un deporte cuya filosofía se basa en el contacto con la naturaleza, el cuidado de las playas y el medio ambiente, *no puede permitirse* elaborar su principal producto con elementos contaminantes.

La situación de uso debe ser mejorada desde un lugar de *nuevas sensaciones y facilitar el aprendizaje de los principiantes*. El surf es reconocido por ser un deporte casi “frustrante” para quienes se inician en él. La dedicación y esfuerzo necesarios para avanzar son su característica principal, sin embargo, cada etapa permite disfrutar del contacto con el agua y de la emoción de correr las primeras olas (por pequeñas que sean).

### **Conclusiones respecto a materiales y procesos:**

El estancamiento de conocimiento de la industria la convierte en un ámbito *susceptible de investigación y desarrollo*.

La *suma de pequeñas ideas* puede dar lugar a cambios más radicales.

La *incorporación de estudios con base técnica*, que ayuden a comprender la interacción usuario-producto, son fundamentales para establecer cambios de diseño.

Los cambios de diseño deben estar orientados a *mejorar la experiencia del deporte*.

El caso del CNC es un claro ejemplo de *avance tecnológico sin percepción*



¿Qué sucede en otras industrias del deporte cuando se desea generar innovaciones? En esta segunda etapa se describe un caso de estudio de cómo la industria del ski busca mejorar la experiencia de los usuarios reduciendo una de sus lesiones típicas. Esto se logra a partir de la vinculación de conocimientos de medicina e ingeniería, dando lugar al rediseño de uno de los accesorios principales para la práctica del deporte. (En la imagen un grupo de pioneros corre olas a metros del muelle de pescadores en Mar del Plata, a lo lejos el cartel de aperitivo Gancia es testigo de la hazaña).  
Fuente: *el surfero*.

## ***Etapa 2 - El conocimiento como valor agregado***

Detección de conocimiento:

Se mencionó en la primera etapa del trabajo la falta de generación de conocimiento con base técnica para el diseño de tablas. En la revisión sobre el estado tecnológico de disciplinas deportivas similares, se ha encontrado que la investigación y desarrollo en materia de diseño y materiales encabezan la lista de prioridades.

A modo de ejemplo se muestra un caso de estudio sobre el rediseño de una bota de ski. El objetivo de este proyecto está enfocado a reducir las lesiones de rodilla, derivadas en su mayoría de un inapropiado diseño del conjunto anclaje-bota. (Corazza, Cobelli. 2005)

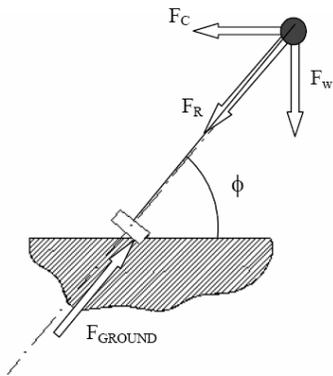
La metodología parte de la base del análisis de un problema concreto. En este caso se trata de las lesiones de rodilla, las cuales por la experiencia recolectada en atletas de alta competencia pueden prevenirse mejorando la postura en el desplazamiento. A su vez una mejor postura ayuda a los principiantes a tener un mejor desempeño, acortando el tiempo de aprendizaje.

La comprensión del problema implica conocimientos relativos al cuerpo humano, dado que las lesiones son producidas generalmente cuando la rodilla sobrepasa un determinado ángulo comprometiendo sus ligamentos. Esto se debe a dos casos particulares, el primero se produce al tratar de mantener el paralelismo del esquí con el suelo, forzando la posición del ángulo de la rodilla “hacia adentro”, el segundo se presenta forzando la posición de la rodilla a causa de la bota de ski “hacia afuera”. Los términos ortopédicos en inglés que definen estas posiciones son *valgus movement* y *varus movement*, respectivamente. A este problema se le suma que no todas las personas poseen la misma alineación de rodillas, con lo que una maniobra que se puede convertir en una lesión para una persona, puede que para otra puede no generar ningún tipo de problema.

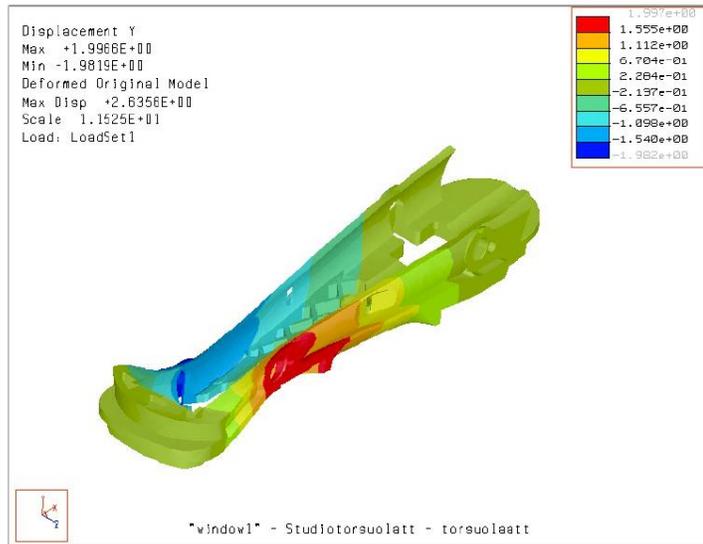
La solución se plantea entonces desde un punto de vista de un sistema adaptable, denominado SGS (*Stance Geometry System*). El sistema posibilita rotar la suela de la bota respecto del eje longitudinal del esquí, permitiendo al usuario la búsqueda de su ángulo ideal y una vez encontrado, fijarlo para mantener dicha configuración.

Lo más interesante del proyecto, más allá del producto final, es el camino recorrido y la metodología empleada para dar con la solución del problema. Luego de la etapa de comprensión y definición del problema, se procede a modelar de forma simplificada la física de la situación de uso. La búsqueda está orientada a comprender qué tipo de fuerzas están involucradas durante el uso de los esquís. (Momentos, puntos de aplicación, sentido y dirección)

ubicación de los sensores en los lugares más afectados.



**Imagen 2-1** "Modelo de las fuerzas involucradas en una maniobra de giro" (Corazza, Cobelli. 2005)



**Imagen 2-2** "FEA sobre una pieza de la suela de la bota" (Corazza, Cobelli. 2005)

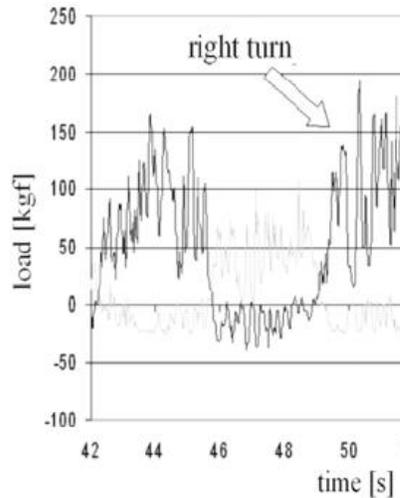
Como siguiente etapa se procedió a realizar dos análisis, por un lado uno computacional y por otro uno experimental.

Con la idea de generar un método de retroalimentación de datos, el análisis experimental mide las fuerzas en puntos predeterminados de la bota durante su uso. Para esto se recurre a extensómetros "strain gauge" y celdas de carga.

El análisis computacional se realizó por el método de elementos finitos (FEA). El objetivo del mismo es el de entregar información acerca de la distribución de esfuerzos en forma numérica y visual. De esta forma se puede rediseñar aspectos de grosores y rigidez de las partes componentes de la bota, de forma de minimizar el impacto de las cargas en el cuerpo del esquiador. El uso del FEA previo a los experimentos de campo permite además planificar la



**Imagen 2-3** "Detalle de la ubicación de algunos de los extensómetros en las pruebas experimentales" (Corazza, Cobelli. 2005)



**Imagen 2-4** “Gráfico de carga Vs. tiempo obtenido de los extensómetros” (Corazza, Cobelli. 2005)

La información de los sensores es procesada y luego graficada. Los resultados de los gráficos muestran la variación de carga a lo largo de distintas maniobras, de esta forma se pueden establecer los instantes en que se alcanzan los máximos, y a la vez calcular la magnitud y distribución de los mismos.

Como última etapa, ya conociendo de forma experimental las cargas a las que se ve sometida una bota y pudiendo generar un modelo computacional, se puede evaluar en forma virtual el comportamiento de distintos diseños, como ser el SGS y derivados.

### Conclusiones:

- El proyecto descrito da cuenta de ***cómo aplicar tecnologías utilizadas comúnmente para otros rubros*** (las celdas de carga y *strain gauge* son comúnmente utilizadas en probetas metalúrgicas) y cómo orientarlas al diseño en la industria del deporte.
- La reducción de las lesiones por medio del rediseño de determinadas piezas, se transforma en un claro aporte para ***mejorar la experiencia del deporte***.
- La documentación y publicación de las mediciones obtenidas, se convierte en una ***base de conocimiento*** para quienes deseen seguir desarrollando nuevas líneas de investigación.
- ***La metodología utilizada*** en este proyecto ***puede adaptarse*** a todo tipo de trabajos relacionados con la innovación y el desarrollo de productos deportivos.



### ***Etapa 3 - La generación de ideas:***

La elaboración de una idea puede ser producto de la inspiración, muchas noches de insomnio o varias jornadas de surf, este trabajo es producto de una mezcla de las anteriores. La tercer etapa repasa el camino que dio lugar a las posibles líneas de innovación del proyecto. (En la imagen un grupo de jóvenes marplatenses practica fútbol desafiando un cartel de prohibición. Junto con otras actividades de playa el surf había sido prohibido durante la última dictadura militar) Fuente: *el surfero*.

### *¿Hacia dónde ir?*

En la etapa 1, el modelo IMDI dividió a las empresas en 4 grandes escenarios agrupados en dos hemisferios. Se destacó el hecho de que el hemisferio relacionado con el consumo y la comunicación no se componía de elementos susceptibles de innovación, al menos para este proyecto. Ha sido tomada entonces la primer gran decisión, dejando de lado los elementos de mercadeo y enfocando la investigación hacia el hemisferio de los materiales y su transformación.

### *Una tabla para cada surfista:*

Es sabido que algunas marcas deportivas contratan a los mejores deportistas del mundo para promocionar las ventajas de sus productos. “Si comprás estos botines vas a poder jugar al fútbol como Messi<sup>4</sup>”. Esa estrategia podría aplicarse al surf, sin embargo la realidad es muy distinta. Cualquier persona sea un niño, adolescente o adulto que quiera iniciarse en este deporte e intente entrar al agua con la tabla de Kelly

---

<sup>4</sup> Famoso jugador de fútbol de la selección argentina y participante

Slater<sup>5</sup>, probablemente no tarde más de 5 minutos en declararse “no apto” para su práctica. Las tablas para alta competencia no tienen las mismas características que las de principiante, con lo cual el problema no radica en la aptitud de la persona para con la actividad, sino en el elemento con el cual se desea realizarla. Cada surfista deberá interiorizarse según su nivel, estado físico y deseos, sobre qué tabla lo ayudará a mejorar y avanzar en la práctica del surf. Encontrar “la tabla perfecta” puede llevar años de práctica, entrenamiento y pruebas.



**Imagen 3-1** “Messi y Kelly Slater” (Gentileza Fútbol Eme y ASP Images)

Establecer mejoras en cualquier ámbito implica conocer sus características, para el caso de diseñar un producto aplicado a una disciplina determinada se deberá interactuar y conocer a quienes la practican. Sus hábitos, costumbres y pensamientos conforman un todo único e irrepetible, transformándose en una fuente de vital información para quien desea innovar. La confección de este trabajo ha sido realizada desde “el adentro” del surf, ¿cómo se aplican y cómo se ven desde este lugar determinados conceptos globales que definen a una mejora?

*Alcance, valor agregado, interacción y conocimiento:*

*¿Para muchos o para unos pocos?:*

en campañas publicitarias de marcas como *Adidas*.

<sup>5</sup> Surfista australiano 8 veces campeón del circuito mundial profesional

El surf plantea múltiples estilos, olas grandes, olas chicas, maniobras radicales, *free-surf*<sup>6</sup>, entre otros. Si bien para cada uno de ellos existe un tipo de tabla, el camino a seguir siempre es el mismo, comenzar con tablas grandes con buena flotabilidad y una vez “trabajada” la técnica y lograda determinada habilidad se puede pasar a otra diferente, que a su vez se trabaja, se avanza y así sucesivamente. A medida que se adquiere nivel, dependerá de la curiosidad y agilidad de cada usuario el continuar probando distintas combinaciones de tablas o seguir siempre fiel a la misma.

Existe una escala numérica del 1 al 10 que define el nivel de un surfista, el 1 sería el nivel de principiante, el 4 sería un nivel con el entrenamiento y agilidad necesaria para realizar maniobras básicas y de ahí en adelante se continua hasta llegar al 10, donde figuran los campeones del circuito profesional.

***De lo anterior se desprende el concepto de alcance de una innovación. Se diferencia así entre una mejora de alcance global, indistintamente del nivel de surf del usuario y las olas que corra y una de alcance***

***orientado, es decir, que haya sido pensada para un determinado grupo de usuarios como los principiantes.***

*MI tabla, la mejor de todas:*

El surf es un deporte caracterizado por las sensaciones. El proceso de compra de una tabla involucra un período de espera y ansiedad, las tablas personalizadas no tienen stock ni se encuentran en las grandes cadenas de supermercados porque son exactamente eso, *personalizadas*.

La carga de valor percibido es muy fuerte y se sustenta en los aspectos prácticos del elemento, ***si una tabla puede realmente aumentar la velocidad respecto de otra similar y además el usuario puede experimentar esa mejora, entonces estaremos incrementando su valor agregado***. Lo mismo sucederá con una tabla que refleje la calidad de sus materias primas en no envejecerse o deformarse rápidamente.

*Hágalo Usted mismo:*

Los objetos y sus usuarios pueden llegar a generar determinados grados de pertenencia, una marca de auto y su mecánico oficial pueden ser un buen ejemplo de ello. En el surf pasa lo mismo respecto de los cuidados de una tabla, hay usuarios intrépidos que se animan a realizar sus propios arreglos, ya sea por necesidad al encontrarse alejados de alguna ciudad o por el sólo hecho de querer aprender. “La tabla no se presta” podrían decir algunos, a la vez que si el arreglo no es realizado por su *shaper* de confianza o el propio fabricante directamente no sirve. Otros prefieren no tocar absolutamente nada, tal vez por miedo a “arruinar” esta pieza tan preciada, de forma que siempre acuden a terceros. ***Esta característica nos da cuenta del grado de interacción que posee el usuario***. Es importante remarcar el hecho de que todos los *shapers* son surfistas y por lo tanto muchos de los avances en la industria han sido logrados por fanáticos que mediante prueba y error fueron mejorando sus

---

<sup>6</sup> Del inglés “surf libre”, denomina así a aquellos surfistas

que poseen altos niveles pero que por distintas razones no participan en las competencias

propias tablas. A la vez existe un grupo de gente que no se anima a interactuar con el objeto, pero que ***tal vez mejorando algunas características podrían hacerlo.***

*Escuela de surf:*

Por último, de la mano de la ***interacción*** viene el ***conocimiento*** y el ***aprendizaje***. Aquel usuario que se anime a probar distintas configuraciones y tipos de quilla, podría llegar a distinguir los aspectos de arrastre y sustentación de cada una. Aquel que trabaje sus propios parches y arreglos comenzará a incorporar los conceptos de curado, catalización y dureza de los materiales compuestos y así sucesivamente.

***Actualmente los accesorios y las propias tablas no proponen conceptos de interacción, se presentan en configuraciones fijas, dejando librado ese aspecto a cada usuario y sus respectivas ganas y curiosidad.***

El modelo IMDI y el surf:

En la sección anterior se describieron características específicas respecto a la introducción de innovaciones y su relación con el mundo del surf. Como último paso y previo a la generación de alternativas, se analiza el modelo IMDI en sus escenarios de material y transformación aplicados al surf. Se debe tener en cuenta que el estudio ha sido restringido a la tabla, con lo cual la indumentaria y accesorios en general no serán tenidos en cuenta.

CONSUMO



MATERIAL

Escenario material:

*Uso:* está definido por la situación en la cual el producto, en este caso una tabla de surf, forma parte de una determinada actividad.

***Se trata de un producto deportivo, con lo cual puede ser empleado tanto para competencia, recreación o entrenamiento.***

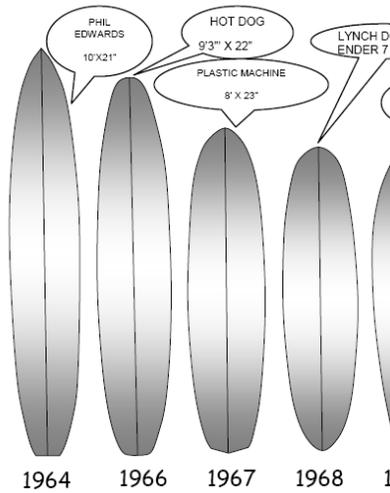
Estas características están relacionadas con elementos intangibles como adrenalina, emoción, entretenimiento, contacto con la naturaleza, generación de endorfinas y trabajo muscular, entre otras. ***El entorno de utilización está dado por un marco de playa y no tiene estación definida, dependiendo solamente de***

***las olas, con lo cual invierno o verano pueden presentarse por igual según sea la ubicación geográfica.*** Climas cálidos generan situaciones de uso con poca ropa, siendo el peso del surfista distinto de aquel que entra al agua en época invernal, en donde lleva traje, botas, guantes y capucha de neoprene, sumando una cierta cantidad de peso no despreciable a la tabla.



**Imagen 3-2** “Disfrutando de una tarde de surf” (Rip Curl Images)

***Forma y función: el producto se presenta como una tabla de determinadas medidas, con bordes redondeados y curvas con sentidos y formas preestablecidas.*** Del tipo de forma, tamaño y características se desprenderán los aspectos que afecten a su función. Existen tablas para olas grandes, tablas rápidas que requieren excelente estado físico y se usan para competencias, tablas destinadas a disfrutar de un surf más tranquilo en olas medias y tablas para principiantes. ***En todos los casos la función que cumple es desplazar al usuario a través del agua, aprovechando de diversas maneras la energía entregada por la ola.***



**Imagen 3-3** "Evolución de los diseños de tablas de surf entre la década de los 60 y los 70" (Lavery et al., 2005)

*Materias primas: en la mayoría de los casos se utilizan preformas de espuma rígida (poliuretano o poliestireno) denominadas foam blanks, compradas generalmente a proveedores locales. Por otro lado son necesarias resinas epoxy o poliéster según el tipo de espuma y telas de fibra de vidrio para generar el material compuesto que recubrirá la tabla.*



**Imagen 3-4** "Bloque de EPS" (Gentileza XTR Surfboards)



**Imagen 3-5** "Bloque de XPS" (Gentileza XTR Surfboards)

*Semielaborados: la mayoría de los semielaborados representan los denominados "accesorios" de la tabla. Entre ellos se encuentran los tapones de quillas (en el caso de las removibles), las quillas propiamente dichas, la pita y el deck de goma para evitar resbalarse.*



**Imagen 3-6** "Juego de quillas, pita y parafinas "

Escenario de transformación:

*Tecnología:* en el caso de las grandes marcas la tecnología de punta está compuesta por el **uso de controles numéricos como maquinaria de trabajo y tecnología de control por PLC para el caso de la conformación de espumas rígidas.** Los PLC cumplen entre otras funciones efectuar controles de temperatura, dosificación de mezcla y tiempos de curado.

*Proceso de fabricación:* la mayoría de las tablas **son fabricadas mediante un proceso artesanal.** Aunque el objetivo principal es el desbaste de material, la incorporación de tecnología como CNC no reemplaza totalmente a la mano del hombre. Las operaciones de aplicación de resina y entelado en fibra de vidrio no han sido automatizadas aún.

Finalmente la tabla va pasando de la preforma con la cual se adquiere el *blank* hacia su diseño definitivo, establecido por el *shaper* ya sea mediante diseño computarizado o manual.



**Imagen 3-7** “Proceso manual de desbaste de material”  
(Gentileza Homeblown blanks)



**Imagen 3-8** “Maquinaria CNC diseñada para la fabricación de tablas”  
(Gentileza AKU shapers)

*Armado:* la preparación de accesorios y su montaje **se realiza en forma manual por el fabricante.** Las quillas, ya sean fijas o removible deben ser escuadradas y fijadas en ángulos predeterminados. Una vez instaladas las quillas y curada la resina la tabla está lista para ser entregada al cliente.

### *Control de calidad:*

Actualmente se dispone en el mercado de materiales catalogados como de primera o segunda calidad. La mala calidad se hace notar cuando el producto sigue curando una vez conformado, perdiendo la forma, generando globos de aire o rompiéndose ante la aplicación de mínimos esfuerzos. ***Los controles de calidad dependen en su mayoría de los fabricantes de espumas, siendo éste el eslabón con procesos más industrializados.*** A su vez son quienes definen qué partidas corresponden a primera o segunda calidad de espumados. La comunicación con el cliente en los primeros meses de entregado el producto es la “prueba de fuego” acerca de la calidad de espuma, entelado y curado de la tabla, transformándose en una importante fuente de información para los fabricantes.

### Hecho en Mar del Plata:

El orientar al proyecto hacia un escenario relacionado con lo material y su transformación y el haber desarrollado conceptos de innovación desde una óptica de comprensión del mundo del surf ha marcado el camino para el planteo de oportunidades de mejora reales. De este estudio se han obtenido tres posibles líneas de trabajo de las cuales sólo una se elegirá para trazar el rumbo final de la investigación. Para ello se realizará un análisis por medio de la aplicación del modelo IMDI y de un sistema de puntaje de 1 a 4 estrellas con la idea de ponderar los conceptos de *alcance, valor agregado, interacción y conocimiento* de cada una.

### “Medición de esfuerzos”

Cualquier curioso que decida dar luz respecto de la mecánica de materiales de una tabla de surf se enfrentará a un gran desafío, a diferencia de otros deportes el surf se desarrolla en un medio poco amigable para la experimentación, el salitre, la humedad y las impredecibles caídas debajo de grandes masas de agua son algunas de estas características. Si quisiéramos evitar esos problemas a través de estudios de laboratorio que reproduzcan las condiciones de ola se necesitarían inversiones superiores al alcance de la industria.

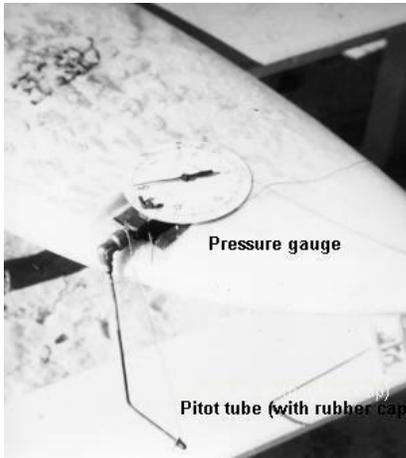
A pesar de esto, algunos intrépidos a principio de los años 70 han montando sistemas pitot en sus tablas para poder medir, por ejemplo, las velocidades alcanzadas<sup>7</sup>. Si bien puede parecer un método poco preciso, el mayor problema radicaba en el hecho de tener que correr la ola y a la vez establecer las mediciones

---

<sup>7</sup> En su tesis de grado el Ing. Michael Paine se dedicó a estudiar la hidrodinámica de las tablas de surf con la idea de

mejorar los diseños existentes en su época (Paine, 1974). Entre otros grande aportes realizó mediciones de las velocidades de las tablas en las olas de Sydney, Australia.

debido a que en esa época no se disponía de sistemas digitales capaces de almacenar información.



**Imagen 3-9** “Sistema de medición de velocidad por tubo pitot” (Michael Paine)

Todas estas características han creado un manto de sombra acerca de qué es lo que realmente sucede en el agua con respecto a la tabla y su comportamiento mecánico.

Si la situación implica no poder realizar estudios a escala o de laboratorio, la única solución es ir al agua.

¿Para qué serviría realizar mediciones del comportamiento mecánico de una tabla de surf? Los métodos computacionales permiten realizar los denominados estudios de elementos finitos (*Finite Element Analysis*), estos métodos simulan la distribución de esfuerzos pudiendo determinar la

ubicación de las partes más comprometidas de un elemento sometido a carga. Para el caso del surf, la dinámica de uso presenta una gran variedad de combinaciones de esfuerzos, siendo la experimentación en tiempo real vital para la generación de datos. De esta manera se puede comprender en qué situaciones y maniobras las tablas se ven más exigidas, generando diseños orientados a maniobras o estilos de surf específicos.

En la segunda etapa de proyecto se mostró cómo un grupo de diseñadores utilizó el sistema de medición por extensómetros para calcular los esfuerzos de una bota de ski, esta idea podría ser trasladada al mundo del surf de manera de establecer mediciones en puntos preestablecidos de la tabla para luego realizar un análisis de elementos finitos.

Para la concreción de un estudio similar se propone la colocación de un conjunto de etiquetas *strain gauge* en determinados puntos de la tabla, la información obtenida debe ser sensada y almacenada en un sistema que permita su decodificación posterior. Como agregado se plantea la posibilidad de realizar una filmación en video de la experiencia, de manera de poder comparar las variaciones de los esfuerzos en el transcurso de determinadas maniobras.

**Marco IMDI:**

Esta idea se ubica dentro del escenario material involucrando las áreas relacionadas con las materias primas y las características de forma. Las conclusiones extraídas del análisis pueden ser aplicadas a la selección de materiales según sus características mecánicas, a la vez pueden mejorar los diseños de distribución de masa determinando la influencia de las formas y volúmenes, entre otras.

**Ponderación:**

*Alcance:* la aplicación de este concepto no necesariamente debe estar orientado a una tabla en particular, por el contrario, puede ser implementado en toda la gama de diseños. Si se desea obtener un estudio

experimental sobre las distintas maniobras, se necesitará la participación de surfistas con niveles de medio hacia arriba con lo cual la orientación sería hacia el uso medio-avanzado, dejando de lado los principiantes.

Puntuación, 2 estrellas.

*Valor agregado:* en este punto la ponderación debe distinguir dos aspectos, por un lado la generación de valor es alta respecto a que el diseño se ve sustentado por el estudio técnico, sin embargo la percepción de este valor por parte del cliente puede ser percibido o no ya que implica una base de comprensión técnica que no todo cliente posee.

Puntuación, 3 estrellas.

*Interacción:* los estudios de elementos finitos se implementan en la etapa de diseño, con lo cual el usuario recibe un producto mejorado pero con el cual no puede interactuar.

Puntuación, 1 estrella.

*Conocimiento:* las bases de conocimiento generadas a través de este método establecen el punto de partida para una infinidad de estudios posteriores, a la vez dan lugar a que los fabricantes y diseñadores de tablas se conviertan en sus propios motores de mejora. Lo anterior se traduce en

una industria más jerarquizada y en lo que más le interesa al usuario, mejor calidad de tablas

Puntuación, 4 estrellas.

### **“Canal de experiencias”**

Desde hace unos años fue reactivado el llamado “Canal de experiencias” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. El canal funciona como herramienta de evaluación de diseño para la prueba de maquetas de barcos y veleros a escala, mediante un sistema de arrastre permite realizar diversos ensayos mientras los datos son procesados por computadora, como agregado se pueden instalar una serie de cámaras para realizar ensayos de flujo de casco entre otros.

Habiendo consultado el autor con el equipo de trabajo del canal se detectó que no existen antecedentes sobre su uso para realizar experiencias con tablas, sin embargo en otras universidades se están utilizando dispositivos de similares características para la realización de experiencias.

La propuesta es acercar al mundo del surf herramientas experimentales actualmente usadas en disciplinas con características similares. Esta innovación implica una amplia investigación previa, ya sea de la hidrodinámica de las tablas como de las posibilidades de ensayo del canal y su alcance. Al tratarse del diseño de un experimento las conclusiones técnicas no pueden ser preestablecidas pero lo que sí se puede realizar es una ponderación de las implicancias del estudio.

Marco IMDI:

Esta idea abarca dos áreas, por un lado la referente a semielaborados ya que permite la investigación de elementos como las quillas, para el caso de las removibles. Por el otro está comprendida dentro de los aspectos de forma y materiales, ya que la variación de los volúmenes y los aspectos de flotación devenidos de los distintos materiales forman parte de las características del ensayo.

Ponderación:

*Alcance:* para este ensayo el alcance se desprenderá de las conclusiones, pudiendo ser tanto global como orientado, sin embargo sería deseable que el ensayo sea de amplio espectro.

Puntuación, 2 estrellas.

*Valor agregado:* por tratarse de un ensayo de laboratorio, la repercusión a nivel usuario puede llegar a tener implicancias más relacionadas con el largo plazo. La generación de valor derivará de la profundidad de las investigaciones y sus resultados.

Puntuación, 2 estrellas.

*Interacción:* a nivel ensayo la interacción para con el usuario es casi nula.

Puntuación 1 estrella.

*Conocimiento:* al igual que el caso del análisis FEA, toda investigación que pueda dar luz a las incógnitas técnicas del mundo del surf debe ser considerada una base de conocimiento.

Puntuación, 4 estrellas.



**Imagen 3-10** “Carro de arrastre del canal de experiencias de la UBA” (FIUBA)

### “Conocimiento natural”

Desde siempre la naturaleza ha movido a los curiosos a indagar acerca de sus secretos, los fenómenos climatológicos, los astros y las migraciones cronometradas son algunos ejemplos de ello. Entre todos estos hay un comportamiento que dada la naturaleza pedestre de la especie humana le ha quitado el sueño a muchos, se trata de la capacidad de volar. Durante años el hombre intentó despegar sus pies del suelo mediante la construcción de extraños dispositivos, sin embargo la naturaleza siempre supo la respuesta, el vuelo debía estar inspirado en las aves. Y no fue hasta que el hombre observó detenidamente su morfología que logró vencer la fuerza de gravedad, llegando a lo que conocemos hoy como grandes máquinas voladoras que surcan los cielos, despegando y aterrizando a semejanza del vuelo de los pájaros. El inventor francés Étienne Jules Marey fue uno de esos curiosos quien investigó entre 1860 y 1902 las características del vuelo de los pájaros. No sólo estudió sus comportamientos de despegue y aterrizaje, sino

que también se dedicó a estudiar los patrones trazados por las alas de diversos pájaros e insectos. Al no haber antecedente de estos estudios, Marey debía construir sus propios artefactos de medición.



**Imagen 3-11** "Insect flight machine- watercolour by E. Valton-1869" (Expo-Marey, 2008)

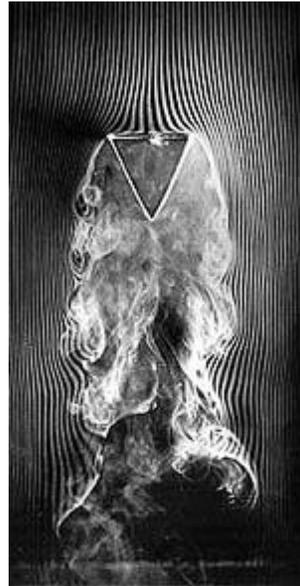
En la imagen se observa una ilustración del método para dibujar la traza de las alas de insectos.



**Imagen 3-12** "Estudio del aterrizaje de un pelícano" (Expo-Marey, 2008)

Marey dedicó sus últimos años a la creación de un artefacto que pudiera

permitirle el estudio del flujo de aire alrededor de un perfil, este perfil podría ser un globo aerostático, un ala de avión o un ala de pájaro. Ese artefacto fue conocido como "máquina de humo", debajo se puede observar una de las fotografías capturadas durante su uso.



**Imagen 3-13** "Traza de humo sobre un perfil determinado" (Expo-Marey, 2008)

Marey muere en 1902 pero deja con él un importante legado, tiempo después serían los hermanos Wright quienes conseguirían realizar un vuelo a partir de un artefacto similar a un avión. Los Wright se llevaron el mérito, pero hubo muchos otros que antes de ellos realizaron incontables aportes, Marey fue uno de ellos, generando conocimiento desde distintas perspectivas que luego dieron paso a lo que hoy conocemos como avión.



**Imagen 3-14** “Los hermanos Wright” (Aerospace Museum)  
 Este es sólo un ejemplo de cómo a través de la observación del entorno natural podemos mejorar nuestra calidad de vida, ¿acaso no se podría aplicar este modelo al diseño de una tabla de surf? Para responder esta pregunta lo más lógico sería acudir a quienes han pasado durante siglos su vida debajo de la otra mitad del mundo, los peces.

Según entendidos de la materia los delfines probablemente han “surfeado” las olas que generan las proas de los barcos desde los inicios de la navegación (Fish & A Hui, 1991), videos documentales y fotos muestran cómo en las playas de Sudáfrica por ejemplo, los delfines “surfean” olas junto a los surfistas. Los científicos opinan que al igual que los seres humanos, los delfines utilizan la

fuerza de las olas para desplazarse en forma de juego.



**Imagen 3-15** “Dos surfistas disfrutan el espectáculo brindado por 16 delfines” (Western Australia)

Si se estudiaran la morfología, la hidrodinámica y las costumbres de nado de los delfines, ¿podría cruzarse esta información con el estudio de la hidrodinámica de las tablas? La respuesta a esta pregunta sólo podrá hacerse si se encara una investigación interdisciplinaria, de modo de abarcar conocimientos no sólo de ingeniería sino también de biología marina.

Marco IMDI:

La implicancia de este estudio deriva en mejoras del escenario material, a su vez las áreas comprometidas abarcan la situación de uso, el factor de forma y las materias primas. Un cambio radical de diseño impacta en la utilización y las formas, mientras que las materias primas deben adecuarse según las propiedades que el diseño le exija al material o visto desde otra perspectiva, cómo aprovechar las propiedades de nuevos materiales para plasmarlos en el diseño.

Ponderación:

*Alcance:* el alcance del proyecto dependerá de si los resultados obtenidos del estudio pueden generar

mejoras concretas, lo ideal sería poder abarcar desde mejoras para los principiantes hasta los profesionales.  
Puntuación, 2 estrellas.

*Valor agregado:* El sustento técnico de un diseño es clave para la funcionalidad del producto, sin embargo no debemos olvidar la percepción de ese valor. Aspectos técnicos por demás complicados generan confusión y tal vez no son tenidos en cuenta por lo que se debe buscar un equilibrio entre el valor percibido y la complejidad necesaria para generarlo. Si una tabla está hecha de fibra de carbono y el usuario no encuentra diferencia con una de espuma rígida, el valor de “material de última generación” no ha rendido sus frutos.

Puntuación, 2 estrellas.

*Interacción:* Si se está proponiendo un estudio que luego se materialice en un producto, entonces la interacción con el usuario puede ser tomada como una componente más del diseño. Como se mencionó en la sección anterior el “hágalo usted mismo” suma conocimiento al usuario y por lo tanto debe ser tomado en cuenta para esta innovación.

Puntuación, 4 estrellas.

*Conocimiento:* Si de generación de conocimiento se trata, esta idea refleja varios puntos a favor. Por un lado está el bagaje de la investigación con aplicación al surf y por otro está el aspecto metodológico, conectando elementos de observación del entorno natural, llevándolos a una situación puntual de uso y aplicándolos a una industria determinada. Este mismo criterio puede ser luego aplicado con éxito a distintos rubros más allá del deporte, convirtiéndolo en una importante herramienta de innovación de diseño de productos.

Puntuación, 4 estrellas.

“Y el ganador es...”:

En el transcurso de esta etapa se han elaborado tres propuestas concretas para dar respuesta a una industria con clara necesidad de mejoras, sin embargo como decisión final se debe escoger aquella que cumpla con ciertas características además de las ponderaciones efectuadas.

Si bien las tres permiten su ejecución real, el desarrollo de mediciones con extensómetros es la que se encuentra más alejada de la escala de este proyecto. El aporte económico y el despliegue de personal técnico necesario para su confección están más cerca de proyectos financiados que de investigaciones personales. La investigación de soporte que dio lugar a esta idea sienta las bases para futuros proyectos y su

posible concreción a través de líneas de investigación financiadas.

La implementación del canal de experiencias de la Universidad de Buenos Aires es un claro ejemplo del uso de herramientas en forma innovadora, a su vez el equipo de trabajo que lleva adelante dicho laboratorio se mostró interesado en recibir propuestas relacionadas con el uso de tablas, dejando abierto el camino a futuras investigaciones. En lo que respecta a este proyecto, el concepto de canal será tenido en cuenta como herramienta de estudio y experimentación pero no como hilo conductor del trabajo.

Como conclusión el modelo natural se transforma en la decisión final de aplicación del proyecto. Para la concreción de esta idea se deberá trazar un camino de interacción y estudio de un escenario ajeno al de la ingeniería. Para ello se deberá contar con la participación de especialistas de la materia, incursionando en el estudio de artículos y publicaciones que permitan comprender los aspectos de morfología y “diseño natural” de determinados mamíferos marinos. La investigación estará centrada en el estudio

del nado del delfín, sus particularidades hidrodinámicas y los modelos de interpretación física, estas características serán analizadas y cruzadas con los conocimientos técnicos de tabla en vistas a obtener conclusiones que puedan materializarse en mejoras del elemento.



Si el diablo sabe más por viejo que por diablo, la naturaleza entonces se debe haber recibido primero. La evolución de las especies y la adaptación al medio han creado a lo largo de millones de años diseños naturales admirables. Esta última etapa busca trazar un paralelo entre las características hidrodinámicas de un delfín y el diseño de tablas.

(En la imagen dos jóvenes marplatenses llevan tablas típicas de los años 70) Fuente: *el surfero*.

## ***Etapa 4-El modelo natural***

---

---

¿Newton, Arquímedes y Bernoulli... surfistas?

Definitivamente ellos nunca lo imaginaron, sin embargo dentro de su gran aporte al mundo científico la explicación física del por qué se puede “correr una ola” es posible gracias a sus ecuaciones. Con la mirada puesta en la mecánica clásica, el surf se fundamenta en la conversión de energía potencial entregada por la ola en energía cinética aprovechada por la tabla. Como todo proceso dinámico éste no escapa a ciertas pérdidas, siendo el diseño de la tabla y la técnica del surfista los encargados de disminuirlas.

Mientras que el empuje y la sustentación hidrodinámica aceleran la tabla, la naturaleza viscosa del agua es quien se opone al movimiento. “*Toda acción provoca una reacción de igual módulo y sentido contrario*”, de acuerdo, pero para comprender la física del surf este concepto debe ser ampliado. A medida que la tabla avanza, su desplazamiento se ve afectado por una suma de componentes (Hendricks, 1969):

**Roce por fricción (*Skin friction drag*):** aumenta proporcionalmente en función de cuánta superficie se encuentre en contacto con el agua.

**Roce por diferencias de presión (*Form or pressure drag*):** se ve influenciado por los cambios de forma, especialmente en la parte trasera de la tabla.

**Roce inducido (*Induced drag*):** el ángulo que forma un objeto respecto a la dirección de su desplazamiento se denomina ángulo de ataque. A medida que este ángulo aumenta la resistencia al desplazamiento se incrementa.

**Generación de ola (*Wave making drag*):** a la vez que la tabla se desplaza por encima del agua, parte de su energía cinética se transforma en energía potencial que adquiere la forma de un pequeño oleaje alrededor de la misma.

**Generación de estela (*Spray making drag*):** se debe al desplazamiento de agua detrás de las tablas al realizar determinadas maniobras.

La sumatoria de estas fuerzas representa la componente de arrastre total, su dirección es la misma que la del movimiento y su sentido es contrario al del avance la tabla.

Por el contrario, las fuerzas que dan lugar al movimiento son:

**Empuje (*bouyant lift*):** definido por Arquímedes como la fuerza de abajo hacia arriba que experimenta un cuerpo sumergido, es la encargada de mantener el conjunto tabla-surfista a flote.

**Sustentación dinámica (*dynamic lift*):** es la fuerza generada por el desplazamiento de un perfil aerodinámico a través de un fluido.

La sumatoria de estas fuerzas se presenta en forma perpendicular al desplazamiento de la tabla.

Se establece entonces el modelo físico de distribución de fuerzas:

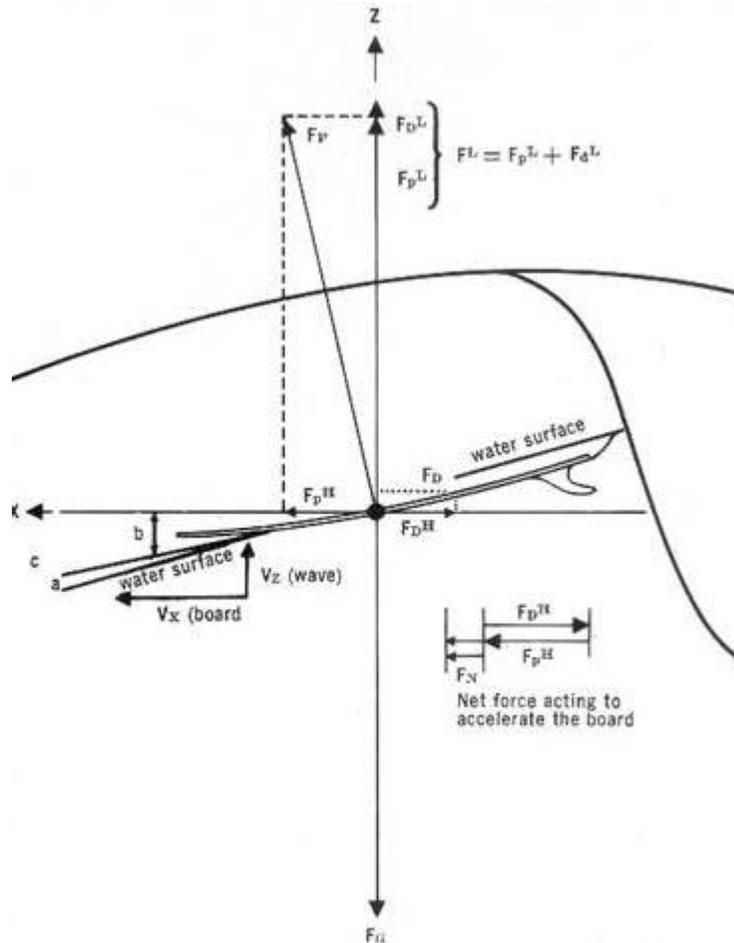
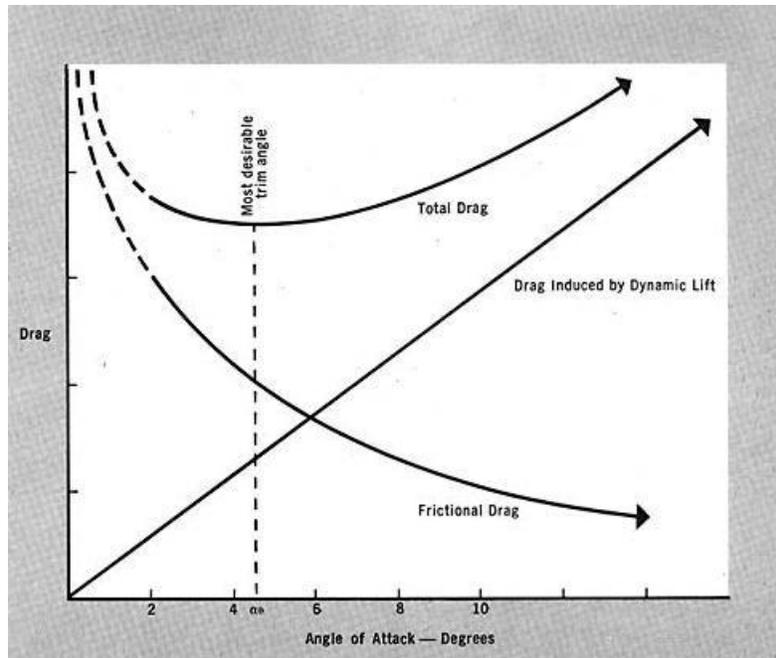


Imagen 4-1 "Diagrama de fuerzas involucradas en el movimiento de una tabla de surf" (Hendricks, 1969)

En la imagen 4-1 pueden distinguirse las tres fuerzas involucradas en el avance de la tabla:  $F_D$  (Arrastre) con dirección siguiendo la superficie de la tabla y sentido opuesto al avance,  $F_P$  (Presión) con dirección perpendicular a la superficie de la tabla y sentido hacia arriba y  $F_G$  (Gravedad), estas fuerzas pueden dividirse cada una en sus componentes vertical y horizontal.

Una tabla de surf alcanza su velocidad máxima una vez que la fuerza de arrastre  $F_D$  es igual a la fuerza de propulsión de la ola (Hendricks, 1969). Los cálculos estiman que un surfista puede llegar a adquirir velocidades superiores a los 12 m/s (más de 40 km/h) (Lavery et Al., 2005). Si alguna vez quiere experimentar una sensación similar puede dejarse llevar por una placa con ruedas de cojinetes (conocido popularmente como *carrito de rulemanes*) en una gran bajada, su velocidad rondará los 35 km/h, agregue a eso una inmensa pared de 10 metros de agua detrás suyo y tendrá la combinación perfecta de sensaciones. Del diseño de embarcaciones se sabe que los movimientos de casco a través del agua pueden dividirse en dos grandes rubros, aquellos que utilizan el denominado desplazamiento de fluido y aquellos que planean elevándose al ras del agua. La tabla presenta ambos comportamientos, el primero en la entrada al agua en donde la velocidad es baja y la flotación actúa como principal sustento, el otro se presenta cuando la ola es correctamente aprovechada y la tabla comienza a acelerar hasta conseguir un estado de planeo, en ese momento la sustentación dinámica se convierte en la principal fuente de propulsión elevando el nivel de la tabla al borde del agua. El mantener una aceleración constante es parte del reto del surf, la capacidad del surfista radica en incrementar su velocidad por medio de las denominadas maniobras, en las que los giros, saltos y retomes de ola pueden llevarlo a duplicar la velocidad que lleva la ola (Lavery et al, 2005). Detrás de la habilidad del corredor se esconde la explicación física de sus aciertos o errores. Ya se mencionó que la velocidad máxima se alcanza cuando el arrastre iguala a la fuerza de propulsión, por lo tanto a propulsión constante la reducción de arrastre se transformará en aceleración. Sin embargo el diseño de tablas tiene la particularidad de que sus variables no son independientes, muy por el contrario, siempre que se trabaje sobre una variable en particular se estará dejando otra de lado, ¿cómo se explica esto?



**Imagen 4-2** “Generación de arrastre en función del ángulo de ataque de una tabla” (Hendricks, 1969)

El ángulo de ataque (o corte) se define como el ángulo que forma la cara inferior de la tabla con el fluido (no siempre coincidente con la horizontal), para el caso del diagrama de fuerzas se trata del ángulo  $\alpha$  y su valor determina la cantidad de superficie en contacto con el agua. En el gráfico se puede apreciar que a medida que el ángulo decrece (*angle of attack*), el roce por fricción (*frictional drag*) aumenta, esto se debe a que a menor ángulo de ataque mayor es la superficie mojada. A medida que el ángulo crece, la cola se va sumergiendo y la nariz se va elevando disminuyendo la superficie de contacto y con ello el roce por fricción, sin embargo esto da lugar a una nueva componente denominada roce inducido (*induced drag*). A medida que el ángulo crece, el roce inducido es cada vez mayor debido al incremento de la superficie sumergida. El roce total alcanza su valor mínimo para un ángulo de ataque entre 4 y 5 grados.

Del lado opuesto los aspectos relacionados al movimiento también varían en función del ángulo de ataque, una tabla con ángulo cercano a cero es sustentada por la fuerza de empuje y una tabla circulando con ángulo pronunciado se encuentra bajo los efectos de la sustentación dinámica. En resumen, por cada incremento de velocidad que se gana, el rozamiento es el precio que se debe pagar.

Más allá de la generación de arrastre, la sustentación dinámica juega un papel crucial a la hora del diseño de una tabla, el rango de velocidades que se alcanzan sugiere que la tabla se encuentra planeando la mayor parte del tiempo y esto se debe en gran parte a la presencia de esta fuerza, resultado de la variación de presiones a lo largo de un perfil aerodinámico. Los fabricantes trabajan las variaciones de ángulo de ataque mediante lo que se denomina “diseño del *rocker*”, representado por una curva longitudinal que recorre la tabla por su centro desde la nariz hasta la cola.

“Yo siento que mi tabla vuela...”

Esta frase fue repitiéndose en las diversas charlas con surfistas, pero... ¿es realmente cierto o es sólo imaginación?

Desde el punto de vista de la mecánica de fluidos, a medida que un perfil aerodinámico se traslada por un fluido, la corriente que circula por su parte superior aumenta su velocidad (recorre mayor camino en igual cantidad de tiempo que la corriente de la parte inferior), este aumento de velocidad genera un centro de baja presión y debido a que la presión de la parte inferior es mayor, la diferencia de fuerzas provoca un desplazamiento hacia arriba, este mismo principio es el que fundamenta el diseño de los perfiles del ala de un avión. Al incrementarse el ángulo de ataque la sustentación aumenta y si bien también aumenta el roce inducido, el avance producido es mayor que frente a un ángulo pequeño.

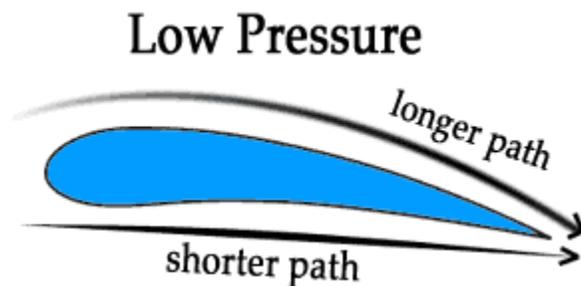


Imagen 4-3 “Velocidades sobre un perfil aerodinámico”

Estas características pueden ser traducidas en elementos de diseño de la tabla, como se dijo, ganando algunas y perdiendo otras se establece un equilibrio entre una tabla maniobrable y rápida, de forma de aprovechar el efecto de sustentación y provocando una sensación de “vuelo” en el usuario.

Se han recopilado hasta aquí los aspectos físicos, teorías y explicaciones que fundamentan el desplazamiento de una tabla, estas pueden ser aplicadas tanto al diseño de una tabla como al estudio de un perfil de ala avión y a una amplia gama de situaciones de la vida diaria. Sin embargo el surf representa un contacto con la naturaleza, lejos de las teorías y cercano a las sensaciones, interactuando con el océano, sus fenómenos y con quienes habitan en él... ¿acaso entonces esto no podría traducirse en una fuente de conocimiento?

Surfistas por naturaleza

El hombre siempre ha creído ser una especie superior dentro del reino animal, el uso de razón nos ha llevado a conjeturar que el poder pensar nos eleva dentro de las jerarquías del medio, como si se tratara de un poder especial. Sin embargo, la naturaleza siempre se las ha ingeniado para estar un paso adelante. Los estudios fósiles dan cuenta de cómo diversas especies han logrado adaptarse a nuevos medios, desarrollando características únicas que mas allá del uso o no de razón, las colocan en un nivel superior frente a nosotros. Siempre que el hombre ha querido “conquistar” otros medios distintos al terrestre ha tenido que recurrir a la observación de quienes lo habitan. El avance de ciertas investigaciones biológicas dan cuenta de la complejidad de desarrollos naturales jamás imaginados por el hombre.

Dentro de los mamíferos marinos, los delfines han llamado siempre la atención. A nivel popular son conocidos en oceanarios y parques acuáticos por su inteligencia y su capacidad de realizar trucos, a nivel biológico han despertado gran interés a quienes estudian el tema respecto de sus capacidades de nado, velocidad y morfología. Entre estas características se desprende un fenómeno particular denominado “*wave riding*” cuya traducción literal es *montar olas*. De una forma comparable a la que los surfistas corren olas con sus tablas, los delfines montan olas tanto de viento como aquellas provocadas por las proas de los barcos (*bow riding*) (Caldwell y Fields, 1959). En nuestro país este fenómeno era observado décadas atrás con la presencia de toninas en la Costa Atlántica.



**Imagen 4-4** “Delfines aprovechando la energía de una ola”

Si los delfines son surfistas naturales, ¿acaso no nos podrían brindar información para la mejora del diseño de tablas?

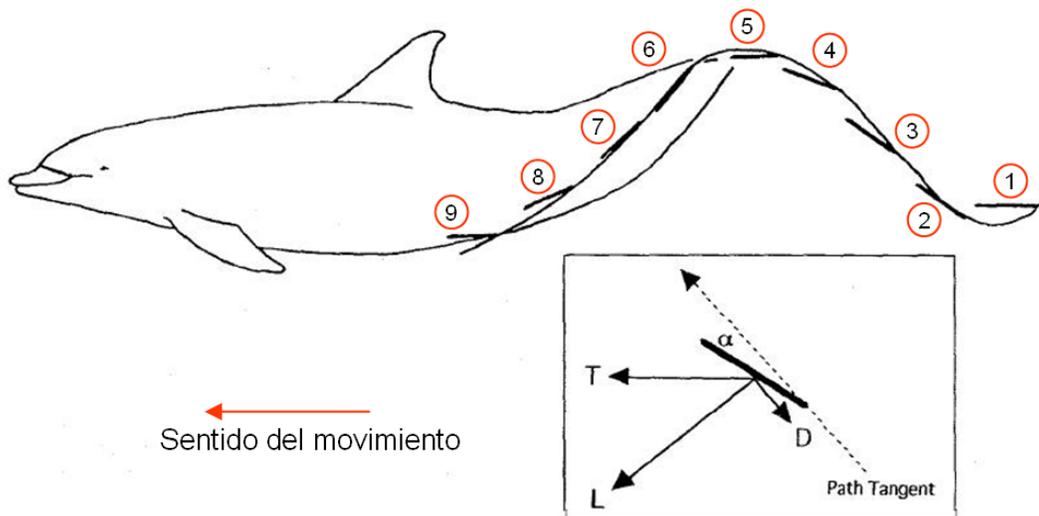
Los delfines poseen adaptaciones que facilitan el desarrollo de alta performance en un medio fluido, siendo consideradas algunas más perfectas que los propios diseños hechos por el hombre. Se encuentran catalogados entre los mamíferos acuáticos más veloces, alcanzando hasta 8 m/s (cerca de 30 km/h) (Fish, 2001). Si se observa el perfil de su morfología se encuentra que la distribución de masa y sus curvas son semejantes a la forma de una gota extendida, siendo esta la forma típica de un perfil hidrodinámico.

Roce, mentiras y verdades:

Durante décadas se han establecido teorías sobre el nado de los delfines en función de las velocidades que pueden desarrollar. Esto ha llevado a varias controversias, siendo las últimas publicaciones las encargadas de aclarar algunas creencias erróneas mantenidas durante años.

Los cetáceos poseen una característica particular que los diferencia de otras especies, mientras que otras generan impulso por arrastre (*drag based swimming*) o por aleteo lateral (*side based swimming*), su nado se basa en la generación de fuerzas de sustentación vertical (*lift based swimming*). Estas fuerzas son producidas por su aleta trasera, conocida como aleta caudal, la cual posee un diseño hidrodinámico similar a un perfil de ingeniería. El nado por sustentación es considerado uno de los nados más avanzados por su bajo costo de transporte, en comparación por ejemplo con el nado por arrastre (Fish, 2001).

La disposición de los perfiles en forma horizontal hace que el aleteo se transforme en impulso por medio de la sustentación. A medida que el delfín aletea, el perfil de la cola va cambiando su ángulo de ataque, proporcionando distintos grados de fuerza de avance controlados por el animal.



**Imagen 4-5** "Traza de la aleta caudal y fuerzas generadas" (Adaptación de Fish, 2001)

Si se observa la imagen anterior se verá que el trazado del aleteo describe una onda sinusoidal, a la vez que el delfín avanza el ángulo de ataque del perfil de la aleta va variando en forma cíclica desde la posición 1 hasta la 9. La fuerza  $L$  (*lift*) representa la sustentación y es siempre perpendicular a la dirección tangente a la traza, su componente horizontal representada por la fuerza  $T$  (*thrust*) representa el avance, mientras que  $D$  (*drag*) representa el arrastre. A lo largo del trazado las componentes van variando entre máximos y mínimos, el máximo ángulo de ataque (y por ende la mayor sustentación) se obtienen para las posiciones 3 y 7. La fuerza  $D$  establece la denominada fuerza de arrastre inducida, sin embargo esta no es la única fuerza que el animal debe vencer, a continuación se describen todas las fuerzas de arrastre involucradas en el nado del delfín:

**Roce viscoso:** es provocado por las tensiones de corte que genera el fluido sobre la superficie del animal al desplazarse.

**Roce por diferencias de presión:** la variación de forma de un perfil puede derivar en lo que se denomina punto de separación, generando cambios de presión que se manifiestan mediante un incremento en el arrastre.

**Roce inducido:** la presencia de perfiles hidrodinámicos hace que el ángulo de ataque de las aletas produzca roce inducido.

**Roce por interferencia:** el agregado de aletas y todo elemento extraordinario a la forma del perfil genera arrastre.

**Roce por formación de ola:** al tener que nadar en ocasiones cerca de la superficie, la energía cinética del animal se transforma en energía potencial a través de la formación de olas, provocando una pérdida de velocidad.

¿Eureka?

Siguiendo el ejemplo de Arquímedes se podría salir corriendo a gritar que se ha dado con una interesante conclusión: *"Tanto las tablas como los delfines deben vencer en su desplazamiento fuerzas de similares características"*. La búsqueda entonces debe estar orientada a obtener información sobre cómo vencen estas fuerzas los delfines y cómo puede esto ser trasladado al diseño de una tabla.

El flujo turbulento, el flujo laminar y el punto de separación:

Todo objeto sólido que se mueve a través de un fluido viscoso experimenta la propiedad de que el líquido en contacto con él tiende a adquirir su velocidad. A medida que uno se aleja del objeto, el fluido va reduciendo su velocidad hasta quedar prácticamente

imperturbado. Esto define las condiciones de la llamada “capa límite” (*boundary layer*) pudiendo adoptar tres estados: laminar, turbulenta o de transición (Hendricks, 1969).

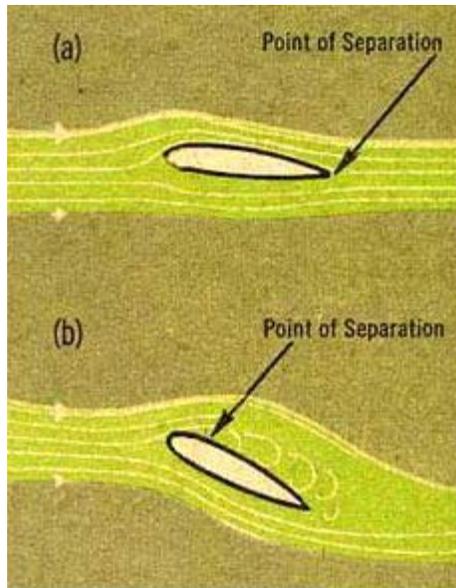
En el primer caso las velocidades se distribuyen en líneas prácticamente paralelas a la superficie del objeto. Para el segundo caso se produce un fenómeno aleatorio por el cual las corrientes y velocidades se distribuyen en forma errática sin dirección ni sentido definido. El último es un estado intermedio entre los anteriores.

¿Cómo afectan estos parámetros al desplazamiento tanto de un delfín como de una tabla?

Debido a que el flujo turbulento es asociado a un aumento del roce viscoso los investigadores sostuvieron durante años la hipótesis de que los animales podían mantener su capa límite en régimen laminar a lo largo de toda su superficie, disminuyendo el arrastre y aumentando su velocidad. Esto fue dando lugar a una serie de teorías como la existencia de secreciones lubricantes y micro vellosidades, entre otras, convirtiendo prácticamente al régimen turbulento en un enemigo. Sin embargo, Fish en sus estudios más actuales declara **“no haber evidencia concluyente de que los animales mantengan una capa laminar, ya sea mediante el uso de secreciones, características de piel o cambios de temperatura”** (Fish, 1993) concluyendo además que por su alto número de Reynolds los delfines presentan flujo turbulento a lo largo de todo su cuerpo (Fish, 2001), planteando así un panorama totalmente contrapuesto a las teorías más conservadoras.

Pero entonces, si el régimen es turbulento ¿cómo logran los delfines alcanzar altas velocidades? Por un lado, como se mencionó en un principio, el roce viscoso no es el único arrastre que el animal debe vencer y si bien el flujo turbulento está asociado a su incremento, dicho régimen permite establecer otras características que ayudan a la reducción del roce total.

A medida que un perfil hidrodinámico que se desplaza por un fluido aumenta su ángulo de ataque incrementa a la vez su sustentación vertical. Esta sustentación no crece de forma indefinida sino que llega un punto en el cual alcanza su máximo para luego decaer rápidamente, en ese momento el flujo se separa físicamente del perfil dejándolo prácticamente en estado de libertad. Este ángulo se denomina “*stall angle*” y representa la condición en la cual el flujo se “separa” del perfil incrementando el arrastre y disminuyendo la sustentación.



**Imagen 4-6** “Punto de separación y efecto del *stall angle*” (Hendricks, 1969)

En la imagen *a* se observa el perfil con circulación normal, el punto de separación se ubica en el final del perfil, en la imagen *b* el punto se traslada abruptamente hacia delante del perfil, generando la separación del flujo, una forma de evitar la aparición temprana es mantener un régimen turbulento alrededor del perfil. A pesar de que las condiciones laminares promueven un menor roce viscoso, el arrastre total será mayor en comparación a una capa turbulenta a causa del incremento del roce por diferencia de presión y la separación temprana de la capa límite (Webb, 1975). La importancia de la superficie rugosa de una pelota de golf y la costura de una pelota de tenis o baseball son ejemplos de cómo mantener regímenes turbulentos de forma de evitar la separación y por ende de reducir el arrastre (Streeter, 1988). En conclusión la forma hidrodinámica del delfín sumada al régimen turbulento son los encargados de que la separación no se produzca a lo largo del perfil, generando una importante reducción en el arrastre total.

¿Y las tablas?

El caso de las tablas es similar al de los delfines, en función de las características de forma y las velocidades alcanzadas el régimen laminar solamente se presenta entre las 2 y 3” iniciales de la tabla (Hendricks, 1969; Lavery *et al.*, 2005), el resto de superficie hasta la cola se presenta en régimen turbulento, para el caso de las quillas la capa turbulenta se mantiene hasta un 30 a 40% de su altura medida desde la base de la tabla, siendo el resto laminar (Lavery *et al.*, 2005). La separación puede ser controlada por medio del diseño

del “kick tail” el cual hace referencia a la curvatura con la que la tabla conecta la superficie inferior con la superior en la parte de la cola. En la siguiente imagen se aprecia un detalle de la mencionada distribución de flujos.

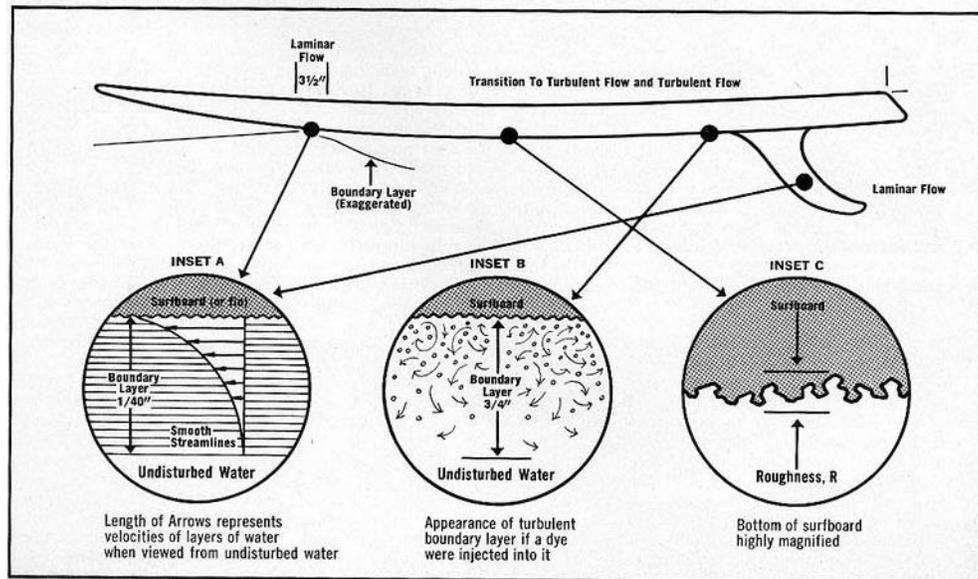


Imagen 4-7 “distribución de flujos debajo de la tabla” (Hendricks, 1969)

En la figura se puede apreciar no sólo la ubicación de los regímenes turbulentos y laminar sino que se destaca la diferencia entre uno y otro. El régimen laminar forma distribuciones de velocidades casi paralelas al objeto, reduciendo su valor a medida que se alejan de la tabla, el régimen turbulento muestra la distribución aleatoria de velocidades.

Si se hubiesen seguido los lineamientos de los primeros estudios sobre delfines probablemente se hubiese llegado a la **errónea conclusión de que el aumento de velocidad sólo podía ser alcanzado mediante la eliminación del régimen turbulento**, sin embargo el modelo natural demuestra que no es así, permitiendo ampliar la búsqueda hacia otros parámetros.

El nado en superficie:

Los delfines tienen su orificio nasal alojado en la parte superior del lomo, delante de la aleta dorsal. Si bien esta ubicación permite el abastecimiento de oxígeno durante el nado en superficie, se debe tener en cuenta que el contacto con la superficie provoca la aparición del denominado roce por generación de ola. Este arrastre se genera a partir de la conversión de parte de la energía cinética del animal en energía potencial, provocando la formación de oleaje que afecta la velocidad de desplazamiento. El valor de este arrastre puede llegar a ser hasta 5 veces mayor que el roce viscoso (Fish, 1993).

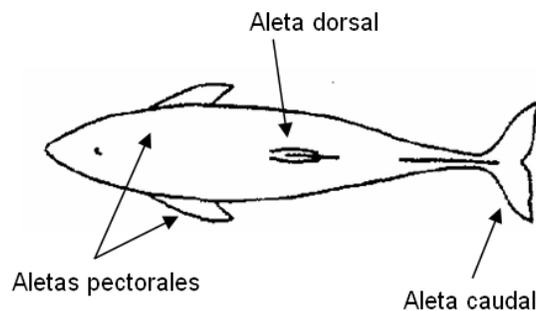
Este fenómeno se reproduce para el caso de una tabla de surf, la cual se desplaza permanentemente sobre la superficie del agua. Los diseñadores no han sido ajenos a esto, llegando a la conclusión que *la formación de ola se presenta como el arrastre predominante por sobre los demás rozamientos*, sin embargo se sugiere que al alcanzar la velocidad de planeo la tabla parece montarse sobre su propia ola, incrementando en ese momento la aceleración y disminuyendo el roce (Lavery *et al.*, 2005).

¿Qué función cumplen las aletas de un delfín?<sup>8</sup>

Los cetáceos presentan un completo registro fósil que permite el trazado detallado de su evolución, partiendo de las formas más primitivas hasta los ejemplares actuales. Lamentablemente la fosilización no se aplica a estructuras grasas, de forma que al no tener basamento óseo la evolución del diseño hidrodinámico de las aletas no es posible. Sin embargo, su función puede ser descripta mediante el uso actual de las mismas.

Los delfines poseen tres clases de aletas:

- Pectorales
- Dorsales
- Caudales



**Imagen 4-8** "Vista superior de un cetáceo donde se distinguen las distintas formas de aletas" (Fish, 1993)

Las pectorales poseen la función de maniobra, ayudando a la estabilidad y nado del delfín. A su vez son quienes generan el denominado roce por interferencia por encontrarse en la periferia del trazado del "perfil" hidrodinámico del animal.

La aleta dorsal ha sido un poco más contradictoria en su estudio ya que mientras algunos científicos le asignan una función mecánica otros están a favor de una función térmica. La primera se basa en el hecho de que su ubicación y características evitan la tendencia del animal a rotar sobre su eje longitudinal, favoreciendo así el control de desplazamiento. Por el contrario, la función térmica implica el intercambio de calor con el medio a través de un

---

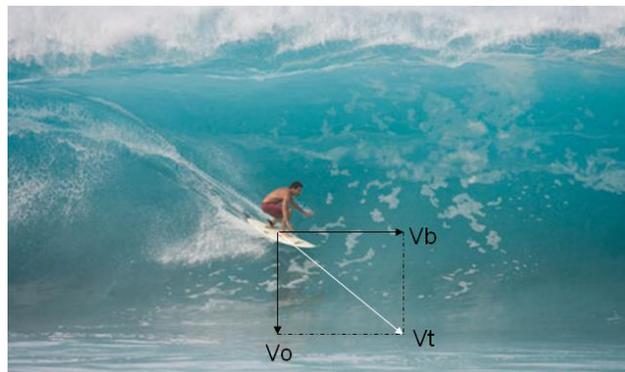
<sup>8</sup> Recopilación de entrevista del autor al Dr. Diego Rodríguez, Biólogo Marino UNMDP-Marzo 2008

sistema de contracorriente de vasos sanguíneos, favoreciendo el control de la temperatura corporal.

Por último la aleta caudal presenta una **función exclusivamente de locomoción**, utilizando su perfil hidrodinámico para la generación de la propulsión. Lo más llamativo es que las demás aletas pueden variar su forma, tamaño y hasta presencia (algunos cetáceos no poseen aleta dorsal), sin embargo la aleta caudal presenta siempre las mismas características aunque se trate de diferentes cetáceos, tal es el caso de una ballena o un delfín. ***Esto indicaría que su diseño ha demostrado ser eficiente y por lo tanto ha tenido una aceptación natural repitiéndose a lo largo de las distintas especies.***<sup>9</sup>

Aquí también se puede trazar un paralelo ya que las tablas poseen una especie de aletas denominadas quillas. Estos elementos con forma de perfil hidrodinámico se ubican en la parte trasera debajo de la cola y cumplen la función de brindar maniobrabilidad y estabilidad. ¿Qué significa esto?

Para comprender la función de las quillas es necesario estudiar la dinámica del movimiento de una tabla. Cuando el surfista logra “cortar” una ola, momento en el cual comienza a acelerar y aprovechar al máximo la fuerza del agua, lo que se produce es un movimiento compuesto.



**Imagen 4-9** “Generación de movimiento compuesto al cortar una ola”

Desde una vista superior el despegue comienza con una posición prácticamente perpendicular a la ola, en cuanto se incrementa la velocidad el surfista debe comenzar el giro hacia una posición de “corte”, casi paralela a la ola. De esta manera la velocidad de la tabla  $V_b$  sumada a la componente de velocidad de la ola  $V_o$  da como resultado la dirección de desplazamiento y la velocidad total experimentada por el surfista  $V_t$ . Es en este momento en donde las quillas juegan uno de sus papeles más importantes. Si realizamos un acercamiento al perfil mientras se realiza el corte, veremos que la función de su diseño consta en la producción de una fuerza de sustentación, no vertical, sino horizontal y con sentido hacia la ola. Si esta fuerza no existiese es muy probable que los surfistas saliesen catapultados una vez cortada la ola. El efecto es exactamente el mismo que se describió inicialmente para un perfil hidrodinámico, con excepción de la dirección y sentido de la

---

<sup>9</sup> Recopilación de entrevista del autor al Dr. Ricardo Bastida, Biólogo Marino UNMDP y surfista -Marzo 2008

fuerza. A su vez el ángulo de corte de la tabla definirá también el ángulo de ataque de las quillas, variando así la fuerza y por ende la sensación de “agarre” de la tabla.

Encender la lamparita...

Si el estudio anterior da cuenta de que existen reales similitudes entre el nado del delfín y el desplazamiento de la tabla, ¿cómo pueden traducirse las características particulares del animal en mejoras de diseño?

Uno de los puntos clave a tener en cuenta es el hecho de que el roce por generación de ola se coloca como el mayor enemigo del incremento de velocidad. La naturaleza respiratoria de los delfines los obliga a acercarse a la superficie para el intercambio de oxígeno, haciendo que la aparición del roce sea casi inevitable, podría argumentarse entonces que entre otras características el “*wave riding*” combinado con el nado por aleta caudal sea una forma de respiración con mínimo costo energético.

Del lado del surf la generación de olas se presenta también de forma inevitable, ya que al menos una parte de la tabla siempre se desplazará en contacto con la superficie del agua. Una forma de reducción de este fenómeno se produce gracias a la sustentación dinámica, ***el incremento de la velocidad de la tabla permite que se eleve por sobre el nivel de su propia ola***, reduciendo en parte la pérdida de energía. ¿Podría pensarse entonces que el incremento de sustentación dinámica se traduciría en la reducción de las pérdidas de energía cinética? ... sí, sin embargo, el desafío radica en cómo lograr este aumento en la sustentación. En búsqueda de una respuesta, los diseñadores de tabla han tomado algunos conceptos del diseño de embarcaciones, en especial lo referente al casco de las mismas. Si se mira en detalle la superficie inferior de una tabla se podrá distinguir una sucesión de planos que van cambiando desde la nariz hacia la cola. Estos cambios son pensados a la hora del diseño y se traducen en características de desplazamiento, en particular existe una variable conocida como la ***concauidad*** de la tabla. El plano cóncavo o bicóncavo es una “panza” que se le realiza a la superficie inferior de la tabla, su curvatura es de forma tal que ingresa dentro de la línea de flotación, si la panza estuviera hacia afuera, saliendo de la línea de flotación, se trataría de un plano convexo. La incorporación de un cóncavo al diseño se traducirá en un aumento de la presión y por ende en un aumento de la fuerza en el plano inferior.





**Imagen 4-10** “Efecto de una concavidad en el flujo de agua”

Las imágenes anteriores dan cuenta de cómo probar de forma sencilla el efecto de un cóncavo. Si sometemos una cuchara al efecto de un chorro de agua, veremos que si la colocamos del lado convexo el líquido seguirá la forma del objeto sin efecto alguno, en cambio al colocar el lado cóncavo sentiremos que la cuchara tiende a alejarse del chorro, este mismo efecto se presenta debajo de la tabla cuando el agua recorre una superficie a la que se le ha practicado una concavidad.

Si bien esto parecería brindarnos una solución a los problemas de elevación, no se debe olvidar que *todo manejo de una variable implica sacrificar o al menos reducir otra*, en este caso se trata de la estabilidad. El cóncavo pronunciado puede volver ingobernable la tabla, acotando su aplicación a surfistas de nivel experimentado.

¿Cómo se podría generar entonces un incremento de sustentación sin comprometer la estabilidad de la tabla?

La teoría del funcionamiento de quillas hizo referencia a sus características de estabilidad y maniobra, ¿se podría agregar a estas características la generación de sustentación vertical? ¿Si el diseño de la aleta caudal se trasladara de alguna forma a la tabla, lograría los mismos resultados?

### SQS/Vertical- Sistema de Quillas por Sustentación Vertical

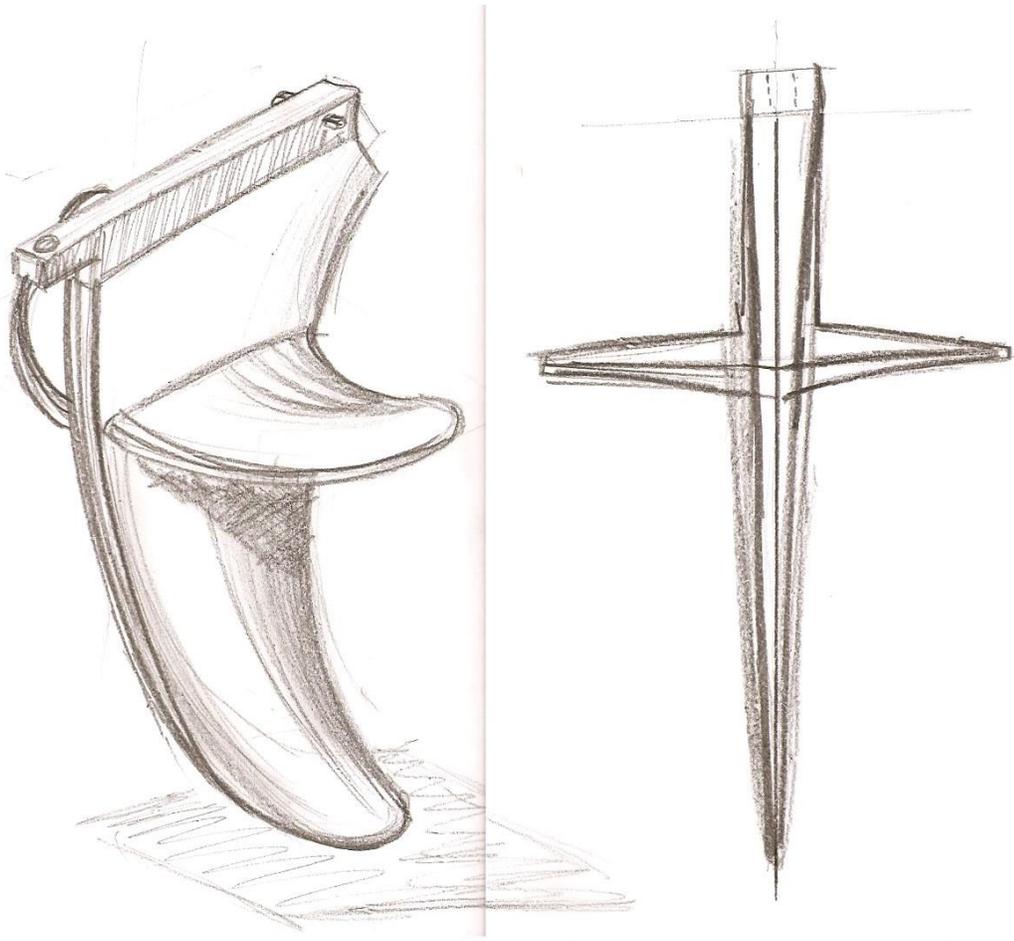
Hasta aquí se ha realizado un completo estudio de las características hidrodinámicas tanto de las tablas de surf como del delfín. De ese estudio se obtuvo como conclusiones que las fuerzas a las que se enfrentan los animales en su nado son muy similares a las que debe vencer una tabla, se concluyó también que la creación de flujo turbulento tanto alrededor del animal como del objeto, permite el avance sin punto temprano de separación, finalmente se demostró que los animales aprovechan al máximo la fuerza de sustentación por medio de su aleta caudal, pero en cambio las tablas deben comprometer su estabilidad para obtener resultados similares. ¿Existe entonces algún nexo que pueda vincular de forma tangible al mundo del surf y los delfines? Si miramos un delfín y una tabla es probable que

un elemento nos llame la atención por sobre los demás, la forma de las aletas es muy similar a la forma de las quillas.

Quien desconozca del tema podría pensar que estos dos elementos cumplen la misma función, sin embargo a lo largo de este texto se ha explicado cada una de sus diferencias y por lo tanto se sabe que las quillas de la tabla no tienen una función de sustentación vertical. ¿en qué se traduciría esto? La generación de una fuerza vertical en la parte posterior de la tabla podría ser muy beneficiosa a la hora en que el mar no posee las características necesarias para elevar mucho la tabla, siendo las corridas un tanto lentas y hasta casi aburridas para los experimentados. Quienes practican este deporte saben que el azar y la climatología juegan un papel crucial, ya que no todos los días son óptimos para el surf y por lo tanto los pronósticos de marejadas, los vientos y las mareas son la única ayuda para esperar un buen día de tabla. El poder entrar al agua en esos días donde las condiciones óptimas no están dadas equivaldría a ampliar la capacidad de disfrutar del mar y este deporte, cualidades nada despreciables por los amantes del surf. Es aquí donde la idea toma la forma de un producto y en función de los estudios teóricos entre disciplinas se elabora el concepto de Sistema de Quillas por Sustentación Vertical (SQS-Vertical).

La idea del SQS-Vertical es poder aprovechar el potencial de agua circulante debajo de la tabla y por medio de determinadas modificaciones al sistema de quillas convertir esa energía en fuerza vertical. El sistema está basado en el diseño de aleta caudal, en donde se aprovecha la circulación de agua a través de dos aletas horizontales simétricas, ubicadas en el tercio superior de la quilla trasera.

En la figura se observa el boceto del SQS, en él se destaca la ubicación de los perfiles laterales y sus características de concavidad.



**Imagen 4-11** "Boceto del prototipo del sistema SQS-Vertical" (Facundo Di Catarina)

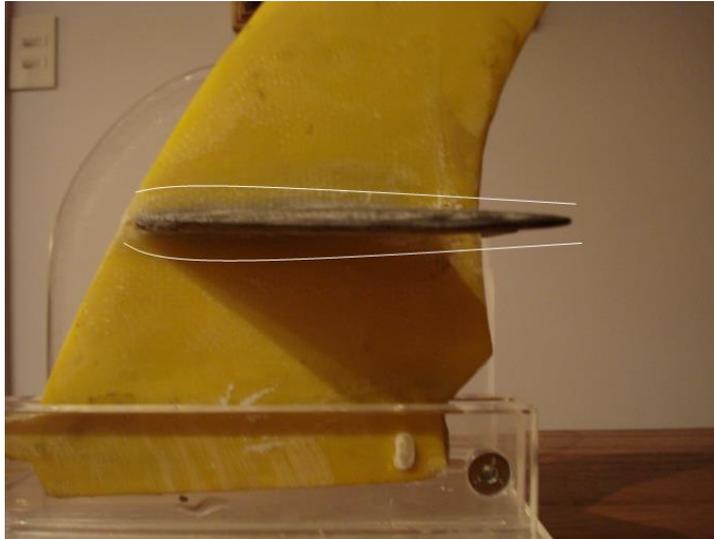
De la teoría a la práctica:

En vistas a realizar diversas evaluaciones del diseño del sistema y basándose en el boceto anterior se ha fabricado un primer prototipo a partir de quillas ya existentes. Este elemento está realizado en plástico inyectado, telas de fibra de vidrio y resina poliéster para incorporar las aletas laterales. Para este prototipo se ha decidido trazar dos perfiles, ambos con ángulo de ataque cero, a uno se lo ha dejado perfilado de forma simétrica y al otro se le ha practicado un reborde con resina epoxy, generando un perfil con cóncavo inferior y una distribución de volumen de gota alargada. La diferencia de formas permitirá evaluar su comportamiento ante el aumento del ángulo de ataque y la presencia del punto de separación.



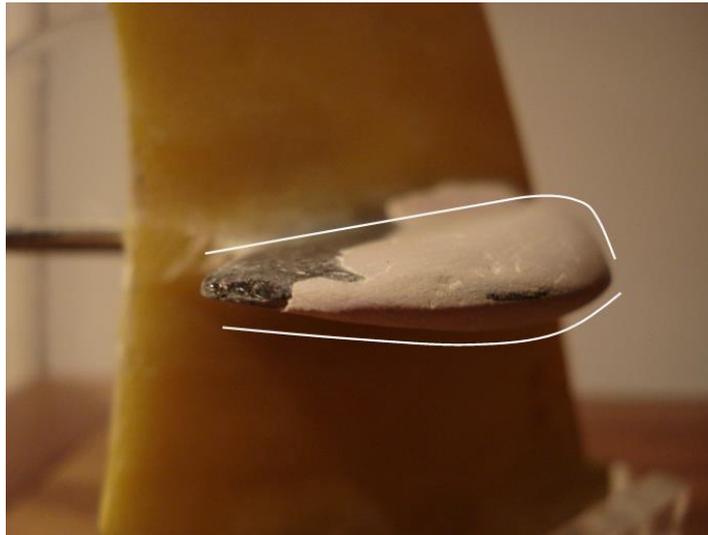
**Imagen 4-12** "Prototipo del SQS-Vertical"

Las imágenes anteriores muestran las dos vistas laterales y la superior, de un vistazo se puede apreciar la similitud del diseño de los perfiles laterales con la forma de una aleta caudal.



**Imagen 4-13** "Detalle de perfil simétrico"

Esta es la vista lateral del perfil simétrico al que no se le ha practicado la generación de bordes extra. Las líneas blancas indican la simetría del perfil.



**Imagen 4-14** "Detalle de perfil hidrodinámico"

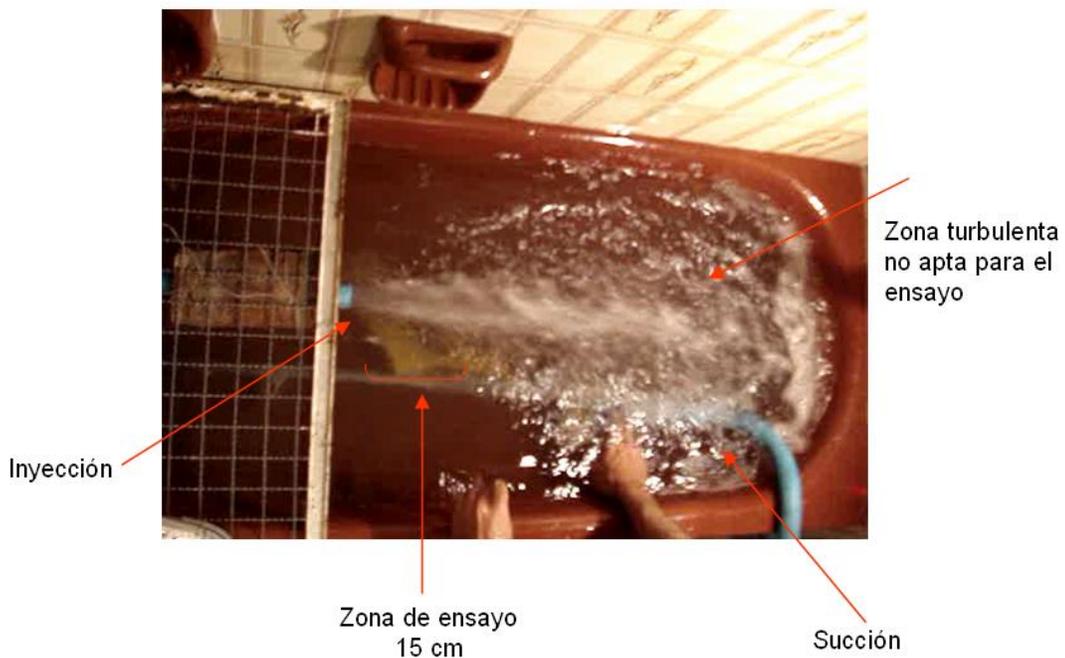
Para el caso del perfil al que se le ha practicado el reborde, las líneas blancas dan cuenta de la diferencia entre las dos superficies. Siguiendo la orientación de la imagen se puede

observar que la superficie superior genera mayor recorrido a lo largo de su curvatura que la superficie inferior. A la vez la superficie inferior presenta un rápido ángulo de cierre hacia la cola generando una determinada concavidad.

El tanque de pruebas:

Con el objeto establecer un respaldo técnico al diseño se ha elaborado un estudio cualitativo que permita comparar los distintos perfiles de la quilla. Este estudio se basa en someter al perfil a una corriente de agua constante para poder relevar determinadas características del flujo externo a través de la variación del ángulo de ataque.

Para llevar a cabo el ensayo se utilizó un sistema de bombeo con recirculación, dejando fija la posición de suministro de agua y variando el ángulo de ataque de las quillas. Estas variaciones fueron captadas en una serie de fotografías de forma de poder comparar los comportamientos de ambos perfiles.



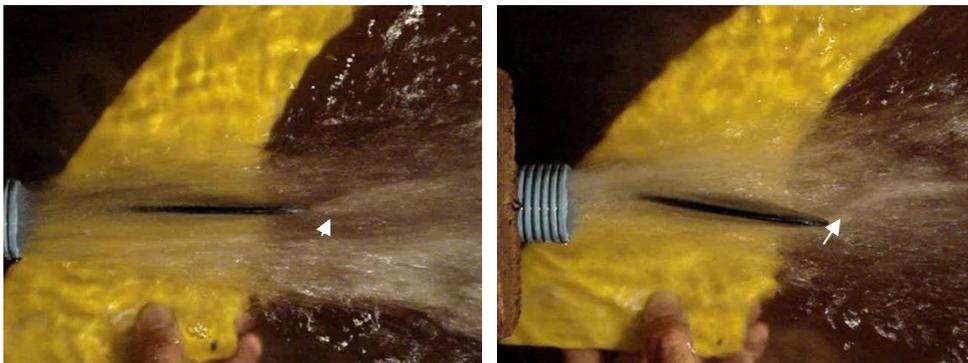
**Imagen 4-15** "Tanque de pruebas"

El experimento comienza por someter el perfil deseado al flujo de agua, se parte de un ángulo de ataque igual a cero para luego incrementarlo lentamente. Los objetivos del ensayo son:

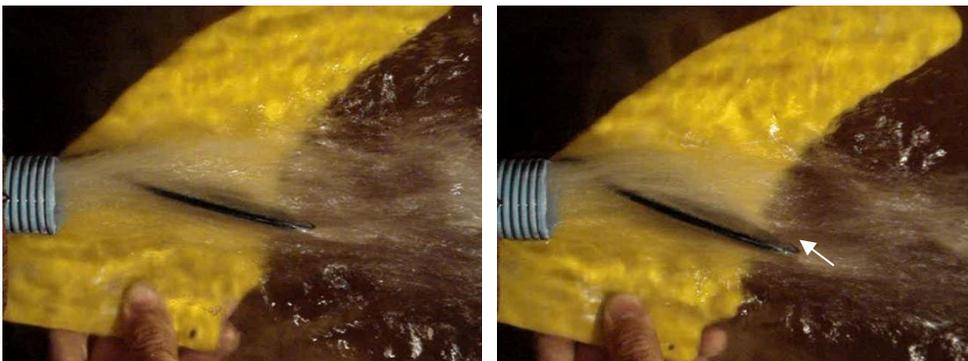
- Determinar el rango de valores en el cual aparece el punto de separación
- Evaluar la distribución del flujo alrededor del perfil incluyendo la traza de salida
- Realizar una comparación de estos parámetros entre los perfiles

La justificación de la realización de una experiencia de laboratorio radica en que los perfiles utilizados no corresponden a ningún tipo de distribución de volumen catalogada como NACA<sup>10</sup>, no pudiendo utilizar entonces valores preestablecidos acerca de las características del perfil. Su distribución ha sido realizada según la teoría recabada a lo largo del proyecto en vistas a comparar el comportamiento de cada una de ellas. Por último las pruebas empíricas ayudarán a validar los planteos teóricos utilizados en su diseño.

Perfil simétrico:



**Imagen 4-16** “Detalle de traza”



**Imagen 4-17** “Punto de separación al final de perfil”

---

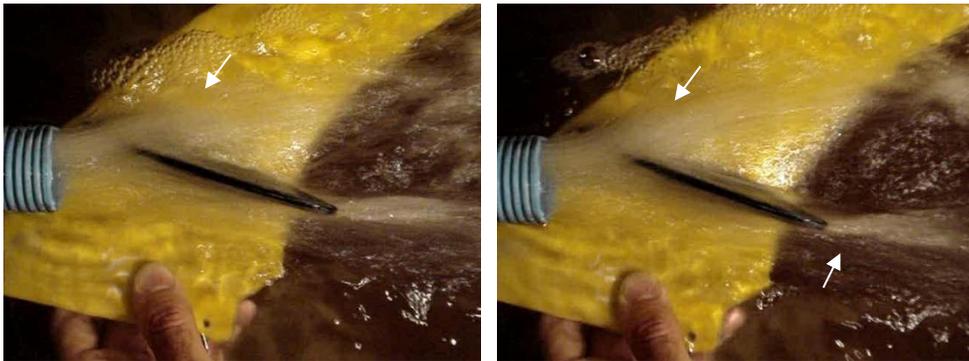
<sup>10</sup> Nacional Advisory Committee for Aeronautics (NACA), entidad estadounidense que elaboró en la década del 60 las denominadas series NACA en las cuales se describía matemáticamente una gran variedad de perfiles aerodinámicos y sus características como coeficientes de arrastre y sustentación, esta serie de perfiles estandarizados se continúa utilizando hoy en día.

El ensayo comienza por colocar el perfil en el flujo de agua formando un ángulo cero respecto al flujo de líquido, las dos imágenes permiten ver la ubicación de una traza en la cola del perfil, esa traza se hace más notoria al incrementar el ángulo de ataque. Se continúa incrementando el ángulo de ataque y se puede ver cómo los flujos son más notorios alrededor del perfil, creando el efecto de sustentación. La flecha en la *imagen 4-17* indica la ubicación del punto de separación al final del perfil.



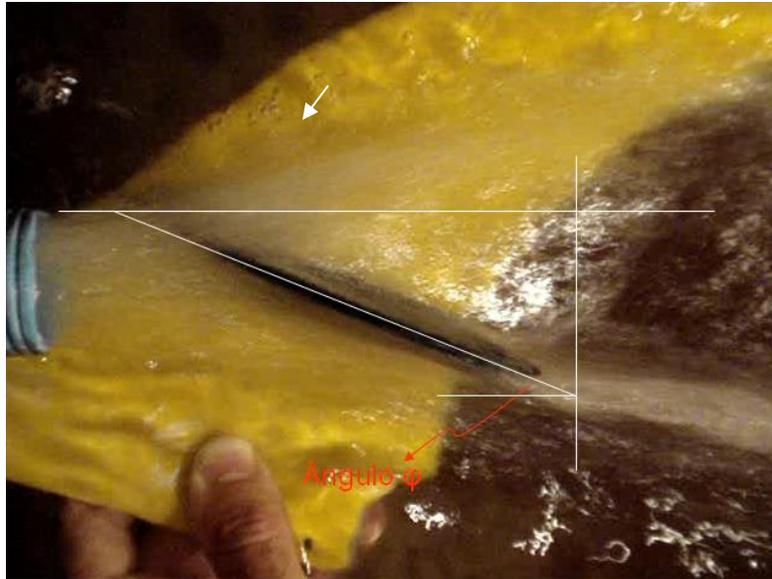
**Imagen 4-18** “Desplazamiento del punto de separación y traza desordenada”

El incremento del ángulo ahora se traduce en la aparición del punto de separación, entre las dos imágenes se puede comparar como comienza en la cola y empieza a trasladarse hacia delante. A su vez aparece una traza grande y desordenada a la salida del perfil en su parte inferior.



**Imagen 4-19** “Desplazamiento del punto de separación y traza desordenada”

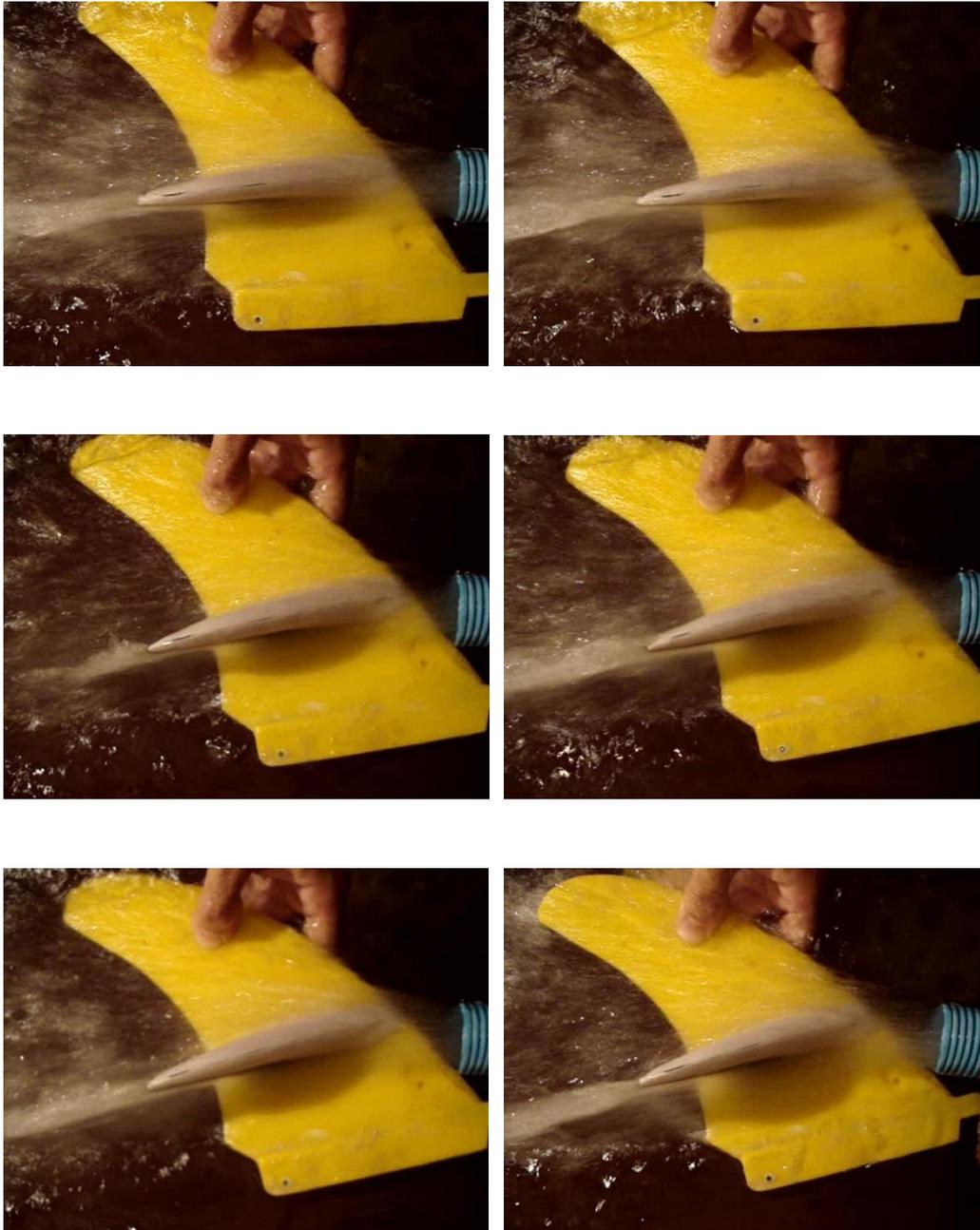
El incremento del ángulo de ataque hace que el punto de separación se traslade finalmente a la punta del perfil, determinando el ángulo crítico (*stall angle*). Comparando las figuras el punto de separación comienza en la flecha A y se va moviendo hasta la posición D. Se aprecia también el aumento en el desorden de la traza a la salida del perfil.



**Imagen 4-20** “Ángulo crítico (*Stall angle*)”

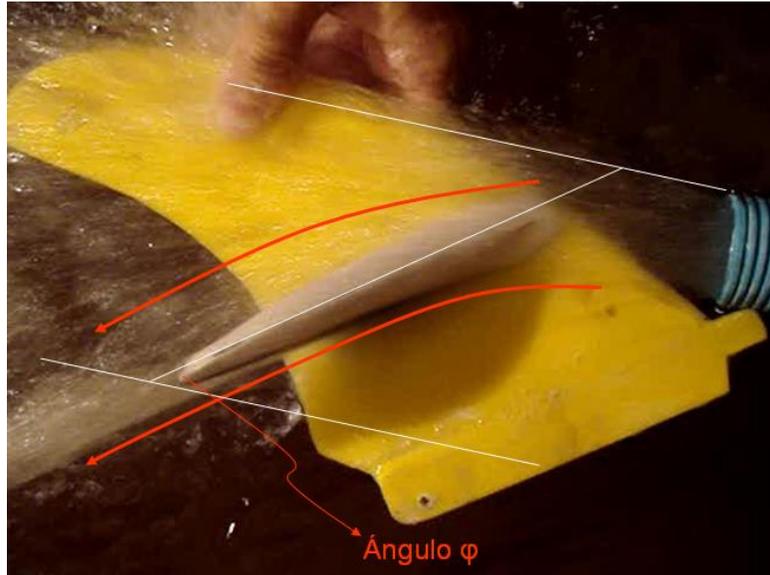
La fotografía permite el cálculo del ángulo  $\phi$  que tiene un valor de entre 20 y 21 grados. Sin embargo no se debe olvidar que la separación comenzó en un ángulo más pequeño.

Perfil con cóncavo y forma de gota alargada:



**Imagen 4-21** “Evolución del flujo por aumento del ángulo de ataque en perfil hidrodinámico no simétrico”

A medida que se incrementa el ángulo se puede ver que ya para valores pequeños aparece detrás del perfil una traza ordenada y que indica la concentración de un flujo acelerado. A pesar de que se aumenta el ángulo de ataque no se llega a distinguir la aparición de un punto de separación.



**Imagen 4-22** “Búsqueda del punto de separación y ángulo crítico”

Dadas las condiciones del experimento, el ángulo máximo de ataque que se pudo probar fue de 36 grados para este perfil. En la imagen se observa que no hay separación de flujo, siendo las fronteras del flujo marcadas por las flechas rojas. A la salida del perfil se continúa distinguiendo una traza de fluido concentrado uniformemente.

Comparación de los ensayos y conclusiones:

La incorporación de dos perfiles simétricos a la quilla tradicional da cuenta de que existe una clara interacción de este elemento con el fluido que recorre la parte inferior de la tabla. Por más que sea simétrico el perfil genera cambios visibles a medida que aumenta su ángulo de ataque, el agregado de un diseño hidrodinámico permite mejores resultados aún.

- El perfil simétrico presenta separación en un ángulo más pequeño que el perfil con bordes trabajados. Esto se traducirá en que el perfil simétrico generará menor sustentación que el hidrodinámico.

- La traza generada por el perfil simétrico de forma irregular puede aparejar pérdidas de energía, la traza compacta y uniforme del perfil hidrodinámico se debe principalmente al efecto del cóncavo inferior. Esto se traduce en una rápida salida de fluido, mejorando las características de sustentación.

Estas conclusiones representan que la mejor forma de aprovechar el flujo de agua debajo de la tabla es mediante la incorporación de un perfil hidrodinámico con concavidad en su parte inferior. No se debe olvidar que la ubicación en el tercio superior de la quilla

enfrentará al perfil a un flujo mayoritariamente turbulento, reduciendo los efectos de aparición del punto de separación, sin embargo el perfil hidrodinámico no simétrico seguirá generando mejores condiciones de fuerza vertical.

Para la realización del prototipo se ha exagerado la forma de gota, de manera que esta produzca resultados apreciables respecto de un perfil simétrico. Las características finales de diseño, grado de concavidad y distribución de volumen deben ser sustentadas por pruebas empíricas realizadas en el mar y mediante usuarios experimentados. De esta forma se podrá obtener datos acerca de los cambios y funcionalidades de los distintos ángulos de ataque y formas de perfil utilizados.

Características técnicas del sistema SQS-Vertical:

- El sistema SQS-Vertical plantea una opción diferente a la configuración de 3 quillas.
- La remoción de las quillas laterales implica que la quilla trasera debe ampliar su relación de aspecto de forma de brindar mayor estabilidad para el caso de tablas grandes, para tablas cortas (menos de 7 pies de largo) podría reemplazar la quilla trasera con medidas similares compensando las quillas laterales por medio del sistema de sustentación, pero no reemplazando su función.
- Los insertos laterales poseen un diseño escalar equivalente al 20% de la quilla vertical. Combinan un diseño de perfil aerodinámico con el agregado de base cóncava para maximizar el efecto de sustentación.
- El producto plantea una importante interacción con el usuario. El sistema de perfiles laterales debe permitir la variación del ángulo de ataque para un determinado rango de valores. La idea es que el usuario de tabla comience a experimentar los cambios en la sustentación de su propia tabla, pudiendo calibrar según sus deseos el efecto generado. Esto no sólo da la posibilidad de interacción, sino que permite la generación de conocimiento a través del manejo de conceptos de sustentación dinámica y ángulo de ataque, generalmente desconocidos por el usuario. Por tratarse de un prototipo esta característica ha sido reservada para un producto final, su funcionalidad y efectos han sido demostrados en el ensayo de tanque de pruebas.
- El rango de variación del ángulo de ataque debe estar hecho de tal forma de no alcanzar el punto de separación, el ensayo permitió alcanzar hasta 36 grados sin separación.
- Los perfiles se ubican dentro del tercio superior de la quilla de manera de aprovechar el régimen turbulento, de esta forma se evita la aparición temprana del punto de separación y su consecuente pérdida de presión.
- La generación de fuerza vertical en las quillas evita tener que generar concavidades debajo de la tabla, permitiendo que usuarios de nivel intermedio a principiante puedan disfrutar de una mejora en su experiencia.

- El diseño permite la utilización de materiales reciclados, tal es el caso de carbono pulverizado o fibras vegetales en matriz polimérica.

Una visión comercial:

Cuando se hizo la descripción del sistema SQS se mencionó como parte de las mejoras introducidas la posibilidad de ampliar el rango de días “surfeables”. En entrevistas con fabricantes y usuarios se ha detectado que gran parte de quienes practican este deporte de forma regular se ven afectados por la falta y regularidad de olas. Las olas son producidas por las denominadas marejadas (*swells* en inglés) que son los encargados de generar las corrientes y junto con los vientos acercar las olas al continente. La aparición de un swell garantiza una cierta cantidad de días con buenas olas, luego de eso puede devenir la denominada “resaca” con menor cantidad, para luego convertirse en un mar chato (del inglés *flat*). El ciclo se renueva dando lugar a las temporadas, en ellas se presentan la mayor cantidad de swells de forma constante relacionándose generalmente con determinadas épocas del año.

Si se toma por ejemplo el reporte anual de marejadas (*swells*) para determinadas regiones podemos observar lo siguiente:

| Surfing Season      |   |  |  |  |  |  |
|---------------------|---|--|--|--|--|--|
|                     | Jan/Feb   | Mar/Apr  | May/Jun  | Jul/Aug  | Sep/Oct  | Nov/Dec  |
| Best Surfing Season | ★★★<br>Best season  | ★★<br>Regular Swell  | ★<br>Occasional Swell  | Flat   | ★<br>Occasional Swell  | ★★★<br>Best season   |
| Typical Swell Size  | <br>2.5m-3m / 8ft-10ft | <br>2m-2.5m / 6ft-8ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft | <br>< 1m / 3ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft | <br>2m-2.5m / 6ft-8ft |
| Surf Equipment      | Shorty  | Shorty   | Boardshorts  | Boardshorts  | Boardshorts  | Boardshorts  |
| Water temp.         | 24°C<br>75°F  | 24°C<br>75°F   | 25°C<br>77°F   | 26°C<br>79°F   | 27°C<br>81°F   | 25°C<br>77°F   |
| Air temp.           | 24°C<br>75°F  | 25°C<br>77°F   | 26°C<br>79°F   | 26°C<br>79°F   | 28°C<br>82°F   | 26°C<br>79°F   |
| Climate             |   |  |  |  |  |  |

Imagen 4-23 “Mapa anual de condiciones de surf para Oahu-Hawai” (Wannasurf.com)

Este cuadro corresponde a la región de Oahu en las islas de Hawai. Este destino es prácticamente el sueño de todo surfista, la tabla muestra una clasificación de dos temporadas clasificadas como las mejores, luego deviene una regular y así sucesivamente. Esto da un total de 4 meses de excelente condición, 2 de condición alta, 4 de intermedia y 2 de regular. En resumen, Hawai presenta condiciones la mayoría del año.

| Surfing Season      |   |  |   |   |  |  |
|---------------------|---|--|---|---|--|--|
|                     | Jan/Feb   | Mar/Apr  | May/June  | Jul/Aug   | Sep/Oct  | Nov/Dec  |
| Best Surfing Season | Flat  | ★ Occasional Swell   | ★★★ Best season   | ★★★ Best season   | ★ Occasional Swell   | Flat   |
| Typical Swell Size  | <br>< 1m / 3ft | <br>1.5m-2m / 5ft-6ft | <br>2.5m-3m / 8ft-10ft | <br>2.5m-3m / 8ft-10ft | <br>1.5m-2m / 5ft-6ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft |
| Surf Equipment      | Boardshorts   | Springsuit   | Fullsuit  | Fullsuit  | Springsuit   | Boardshorts  |
| Water temp.         |   |  |   |   |  |  |
| Air temp.           |   |  |   |   |  |  |
| Climate             |                |                       |                        |                        |                       |                       |

**Imagen 4-24** “Mapa anual de condiciones de surf para Costa Oeste- Australia” (Wannasurf.com)

En cuadro representa la costa oeste de Australia, siendo otro de los destinos más concurridos mundialmente y con una gran cultura hacia este deporte. El mapa muestra 4 meses de alta temporada, otros 4 regulares y 4 de condición baja.

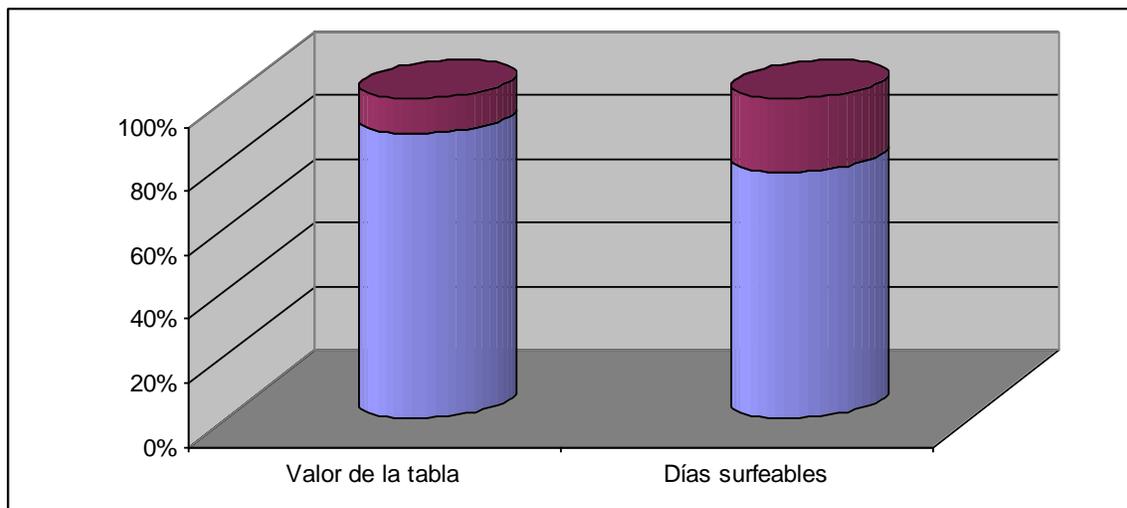
| Surfing Season      |   |  |  |  |  |  |
|---------------------|---|--|--|--|--|--|
|                     | Jan/Feb   | Mar/Apr  | May/June   | Jul/Aug  | Sep/Oct  | Nov/Dec  |
| Best Surfing Season | ★ Occasional Swell  | ★★ Regular Swell   | ★★★ Best season  | ★★ Regular Swell   | ★★ Regular Swell   | ★ Occasional Swell   |
| Typical Swell Size  | <br>< 1m / 3ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft | <br>1.5m-2m / 5ft-6ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft | <br>1m-1.5m / 3ft-5ft |
| Surf Equipment      | Shorty  | Shorty   | Springsuit   | Springsuit   | Springsuit   | Springsuit   |
| Water temp.         | 21°C<br>70°F  | 20°C<br>68°F   | 19°C<br>66°F   | 18°C<br>64°F   | 17°C<br>63°F   | 19°C<br>66°F   |
| Air temp.           | 21°C<br>70°F  | 20°C<br>68°F   | 20°C<br>68°F   | 20°C<br>68°F   | 21°C<br>70°F   | 22°C<br>72°F   |
| Climate             |   |  |  |  |  |  |

**Imagen 4-25** “Mapa anual de condiciones de surf para Lima y alrededores-Perú” (Wannasurf.com)

Para el caso de Sudamérica se puede citar la tabla correspondiente a Perú. Esta región es una de las más importantes del continente ya que está expuesto a las corrientes provenientes del Pacífico durante todo el año. La tabla presenta 2 meses de excelente condición, 6 de media y 4 de baja.

El caso de nuestro país es bastante particular. La Costa Atlántica recibe principalmente las marejadas provenientes del sur, estas corrientes se ven afectadas por la plataforma continental, de modo que la recepción de olas grandes no es del todo frecuente. Sin embargo hay determinadas épocas del año para las cuales se generan buenas condiciones de regularidad. En el caso de la ciudad de Mar del Plata y alrededores se trata de los meses de Marzo a Junio, la clasificación de wannasurf.com da un puntaje de 150 días “surfeables” al año. Sin embargo aquí vale la pena hacer una aclaración, todos los destinos mencionados anteriormente poseen en su mayoría climas agradables para la práctica del deporte, en el caso particular de la Ciudad de Mar del Plata la temporada de surf coincide con el comienzo del otoño y se extiende casi hasta el invierno, es decir con climas de baja temperatura y lluvias. Esto explica por qué cuando se presentan las mejores olas es difícil ver una gran afluencia de surfistas excepto por aquellos que, como se dijo antes, practican el deporte regularmente. A diferencia de esta parte del año, la época estival presenta la mayor afluencia turística para la ciudad y si bien no están dadas las mejores condiciones, representa para muchos la única época en la que pueden practicar el deporte.

¿Se podría decir entonces que la incorporación del sistema SQS puede aumentar la cantidad de días “surfeables” para la región? Sí, esto es posible ya que en días donde las olas no presentan las condiciones ideales (tamaño, velocidad) el SQS surge como una ayuda para disfrutar del deporte. Si a esto se le suma la característica de mayor afluencia de público en época estival, éste se presenta como un mercado potencial para el consumo del producto. La misma conclusión se extiende para aquellas zonas a nivel mundial que no poseen regularidad todo el año, como pueden ser determinadas zonas de Brasil, Centroamérica o Europa.



**Gráfico 4-1** “Comparación de incremento porcentual del valor de la tabla con el aumento de días surfeables ”

De forma de visualizar el concepto anterior, se ha representado en un gráfico de barras la comparación estimativa de porcentajes respecto de cuánto podría aumentar el valor de la

tabla por incorporar un sistema SQS y cómo impacta su utilización respecto de la cantidad de días favorables. Basándose en el precio de mercado actual de una tabla corta, el SQS incrementa su valor en un 10% mientras que siguiendo la perspectiva de días “surfeables” al año en la ciudad de Mar del Plata éstos aumentarían en un 30%.

De esto se desprende claramente que con un pequeño cambio de diseño a través de la investigación y el desarrollo, se puede conseguir un importante impacto en la situación de uso del producto y por ende en el valor percibido por el usuario. El SQS se presenta como una opción de aplicación en mercado local e internacional, tanto como para usuarios intermedios como para principiantes.

Conclusiones:

A lo largo de las cuatro etapas que componen el presente proyecto los conceptos elaborados lograron alcanzar el objetivo del trabajo, generar una innovación tangible para mejorar la experiencia del surf. Tal vez en un principio se pensó en que el trabajo podía ser realizado a distancia, visitando una serie de veces la ciudad de Mar del Plata en vistas a recopilar información y realizar diversas entrevistas, sin embargo la óptica del trabajo fue diferente ya que se optó por radicarse durante un lapso de 7 meses para poder practicar este deporte y entender desde “el adentro” qué sucedía en el mundo del surf. Incontables son la cantidad de anécdotas, personas y sensaciones que han quedado grabadas en el autor y que no han encontrado lugar en el proyecto, pero que no dejan de ser parte del espíritu del mismo.

La metodología de “ser parte” debe ser tenida muy en cuenta a la hora de diseñar un producto. No existe mejor estudio de mercado que aquel que comparte el día a día con quienes disfrutan en este caso de un deporte, sus pensamientos, sus vivencias y sus sentimientos son elementos intangibles que hacen a sus necesidades y a los productos que utilizan. Esto no quiere decir que si uno no practica una determinada disciplina no pueda realizar aportes, pero sí apuesta a que hay que llegar a comprender lo que queda adentro, lejos de las estadísticas.

La interacción entre disciplinas ha sido la clave para obtener resultados. Al comienzo la biología marina se veía muy alejada del mismo, sin embargo siempre estuvo allí, dispuesta para brindar información y el conocimiento necesario para avanzar. Esto mismo puede repetirse en infinidad de situaciones dando real magnitud al concepto de trabajo “interdisciplinario”, término utilizado muchas veces sin fundamento.

La concreción de un prototipo final que permitirá continuar con pruebas de campo dando comienzo a futuras líneas de investigación. Ha quedado demostrada la importancia del estudio hidrodinámico como fuente de incorporación de mejoras y se ha validado el uso del modelo natural. El conocimiento está allí, solamente hay que salir a buscarlo.

Retomando una vieja práctica hoy casi en desuso tal vez podamos mejorar nuestra calidad de vida tanto para el ahora como para quienes nos precedan, sólo es cuestión de ***observar un poco más...***