

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

*TÍTULO: Rediseño de una carrocería de rally a partir de una maqueta de escala 1/24.*

---

**MEMORIA PRESENTADA POR:**  
**Nombre y Apellidos:** *[Marcos Tamarit Caudeli]*

GRADO DE *[INGENIERIA MECÁNICA]*

**Convocatoria de defensa:** *[09/2018]*

## INDICE ANEJOS

9. ANEJOS .....	4
9.1. AMPLIACIÓN DE OTROS PROGRAMAS Y SOFTWARES .....	4
9.1.1. Netfabb .....	4
9.1.2. Meshmixer .....	6
9.2. AMPLIACIÓN DE CONCEPTO DE LA AERODINÁMICA Y ESTUDIO AERODINÁMICO .....	7
9.2.1. La aerodinámica .....	7
9.2.2. Estudio Aerodinámico .....	9
9.2.3. El alerón .....	11
9.3. AMPLIACIÓN DE CONCEPTOS TEÓRICOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS .....	13
9.3.1. Flujo estacionario y no estacionario .....	13
9.3.2. Flujo laminar y turbulento .....	13
9.3.3. Flujo interno y externo .....	14
9.3.4. Flujo compresible e incompresible .....	15

## INDICE ANEJOS

Il·lustració 9-1. Autodesk Netfabb .....	4
Il·lustració 9-2. Ventana principal del Netfabb .....	5
Il·lustració 9-3. Logotipo Meshmixer .....	6
Il·lustració 9-4. Ventana principal Meshmixer .....	7
Il·lustració 9-5. Downforce .....	8
Il·lustració 9-6. Direcció del flujo .....	8
Il·lustració 9-7. Estudio aerodinámico .....	9
Il·lustració 9-8. Túnel de viento .....	9
Il·lustració 9-9. Programa CFX motocicletas .....	10
Il·lustració 9-10. Programa CFX automòvil .....	10
Il·lustració 9-11. Alerón de competición .....	11
Il·lustració 9-12. Mayor tracció y agarre .....	11
Il·lustració 9-13. Fuerzas que afectan al monoplaça .....	12
Il·lustració 9-14. Alerón de un turismo de calle .....	12
Il·lustració 9-15. Flujo laminar y turbulento .....	14
Il·lustració 9-16. Flujo externo e interno .....	15
Il·lustració 9-17. Flujo compresible e incompresible .....	15

## 9. ANEJOS

### 9.1. AMPLIACIÓN DE OTROS PROGRAMAS Y SOFTWARES

#### 9.1.1. Netfabb

Netfabb combina herramientas de fabricación y diseño aditivo en una única solución de software para ofrecer a los ingenieros y diseñadores de productos todas las funciones que necesitan para optimizar, validar y producir modelos de manera efectiva usando procesos de fabricación aditiva.

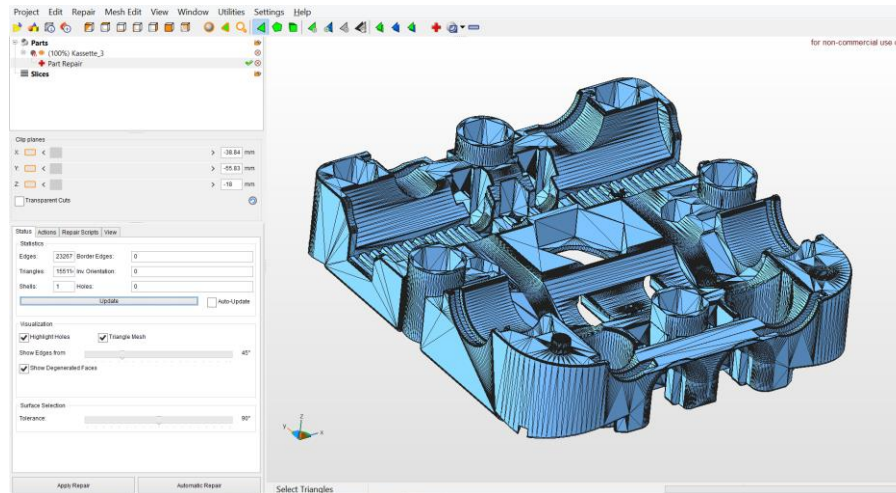
Se centra en ayudar analizar los errores y repararlos, ayudando a agilizar su flujo de trabajo aditivo y a pasar rápidamente de un modelo 3D a piezas impresas. El programa es capaz de detectar si éste tiene agujeros, caras aisladas, normales invertidas, etc...



*Ilustración 9-1. Autodesk Netfabb*

Es un programa que permite realizar una reparación rápida de nuestro archivo. STL mejorando bastante la impresión 3D. Se puede emplear el programa para posicionar la pieza para su posterior impresión, y para escalar las piezas si nos resulta necesario (entre muchas otras aplicaciones). Una de las grandes ventajas de este programa, permite mover en muchas direcciones la pieza con la que se está trabajando, al mismo tiempo permite realizar algunos cambios en el espesor, altura, ancho y muchas otras especificaciones de la imagen.

Uno de los inconvenientes entre ellos que se ha de tener el conocimiento de los iconos indicativos para la interpretación de las señales de aviso.



*Il·lustració 9-2. Ventana principal del Netfabb*

Característiques que puede albergar el programa:

- Enrejado y optimización de superficie.
- Importar, analizar y reparar modelos
- Soportes de construcción configurables
- Simulación y Optimización de diseño para la fabricación aditiva.

Con este programa se ha mejorado el diseño del prototipo y preparación del archivo:

- El manejo rápido de los archivos se logra a través del proceso de importación de archivos CAD y su conversión a archivos STL editables con un módulo de importación CAD.
- Una gran gama de herramientas de diseño 3D, que ayudan a los usuarios a crear la geometría necesaria para un correcto proceso de impresión 3D.

Por otra parte, se ha mejorado en una producción más rápida y funcionamiento:

- Un nuevo simulado ofrece una rápida y robusta simulación de la deposición completa de las capas y predice las tensiones y deformaciones en las partes de metal, ayudando a reducir tiempo y coste de material.
- El modulo dedicado a la construcción de soporte, ayudará a los usuarios a crear las estructuras de soporte para sus objetos, mientras que la función automática maximiza el número de partes que pueden ser cargadas en el área de construcción.

Por último, se optimiza el proceso de diseño:

- Un avance y mejora en el diseño que permitirá un refinamiento de las piezas.
- Los usuarios serán capaces de mejorar las propiedades de sus objetos.

### 9.1.2. Meshmixer

Al igual que el Netfabb, tienes las mismas funciones y características a la hora de su utilización. Es un programa que ayuda a mejorar las mallas de los objetos 3D para que se aprecie un buen acabado antes de ser impreso o fabricado.

Meshmixer permite superponer las superficies rápidamente arrastrando y soltando mallas en superficies existentes. Se ha utilizado sus funciones para rellenar y corregir los gaps o agujeros que contenía el objeto 3D, junto con el Netfabb, presenta mejor calidad que el Meshlab a la hora de tapar agujeros.



*Ilustración 9-3. Logotipo Meshmixer*

Meshmixer opera en mallas triangulares, que consisten en tres tipos de elementos: vértices, bordes y triángulos

- Los vértices son puntos en el espacio 3D. También podemos asociar otra información con vértices, por ejemplo, color.
- Los bordes son conexiones entre pares de vértices.
- Los triángulos son triples de vértices.

En Meshmixer también se usa el término de caras para referirnos a triángulos (aunque en realidad los triángulos son solo un tipo de cara). Los bordes conectan las esquinas de los triángulos, y los vértices son puntos donde se juntan dos o más bordes (esquinas de los triángulos).

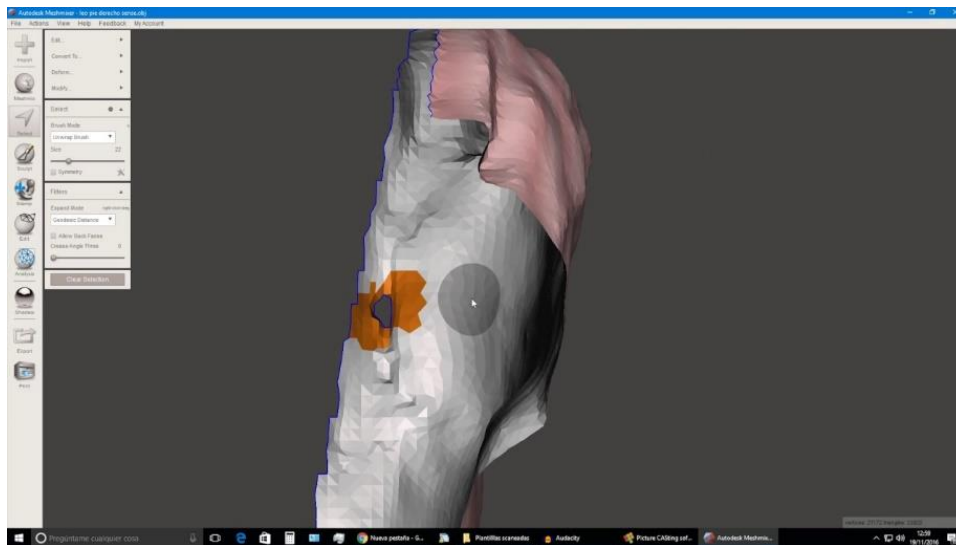
El término vecinos se usa para referirse a dos triángulos que comparten un borde, dos bordes que comparten un vértice o dos vértices que comparten un borde.

El término incidente se refiere a un elemento que es parte de otro. Por ejemplo, un borde es "incidente sobre" uno o más triángulos.

Un límite de malla es uno o más bordes incidentes sobre un solo triángulo. Una malla se llama abierta si tiene uno o más límites, y se cierra si no tiene bordes límites.

Un caparaz3n es un conjunto conectado de triángulos. En otras palabras, a partir de un triángulo, puede caminar a cualquier otro triángulo en el caparaz3n sin salir de la superficie. Esto también se conoce como componente conectado.

Superficie normal y tangente, puede pensar en un plano tangente en un punto de la superficie como el plano paralelo a la superficie en ese punto. El vector normal en un punto es el vector que es perpendicular a este plano tangente. Puedes pensar en el vector normal como el vector que señala "directamente hacia afuera" de la superficie, y la tangente como el plano que se ajusta "a lo largo" de la superficie en un punto dado.



*Ilustraci3n 9-4. Ventana principal Meshmixer*

## 9.2. AMPLIACI3N DE CONCEPTO DE LA AERODINÁMICA Y ESTUDIO AERODINÁMICO

### 9.2.1. La aerodinámica

La aerodinámica es la ciencia que se encarga del comportamiento del movimiento de aire y de otros fluidos gaseosos, incluso de aquellas fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se mueven acorde a dicho fluidos. El movimiento que se genera en el objeto se produce por una modificaci3n en el reparto de presiones y velocidades de las partículas del fluido, teniendo en cuenta, se originan fuerzas de sustentaci3n y de resistencia que pueden alterar nuestros resultados. Por tanto, se debe saber que, si se modifica uno de los valores, ya sea presi3n o velocidad, se modificara otro parámetro que no se desea en sentido opuesto.

La aerodinámica se utiliza para mejorar el rendimiento de cualquier vehículo o parte del vehículo que se quiera desear. Es por eso, el vehículo se



puede llevar hasta límites insospechables que sería imposible alcanzar los objetivos finales sin la actuación de fuerzas aerodinámicas. La finalidad o el objetivo principal que busca la aerodinámica es reducir la resistencia al avance del vehículo y generar un “downforce”, con una dirección perpendicular al suelo.

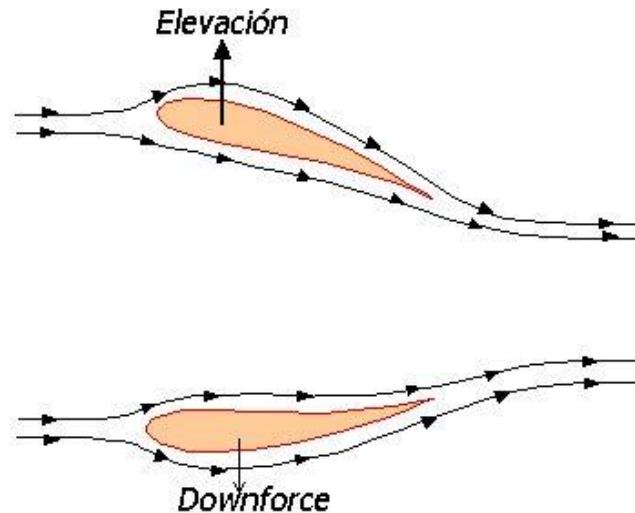


Ilustración 9-5. Downforce

Reduciendo la resistencia al avance se consigue que los vehículos puedan alcanzar mayores velocidades sobre todo en las rectas donde se percibe mayor velocidad punta. Generar el “downforce” o carga aerodinámica no tiene otro objetivo que crear una succión en la parte inferior del vehículo, produciendo unas fuerzas elevadas en los neumáticos que provoca una mayor tracción y agarre sobre el asfalto o cualquier terreno, evitando que el vehículo pierda adherencia en las curvas.

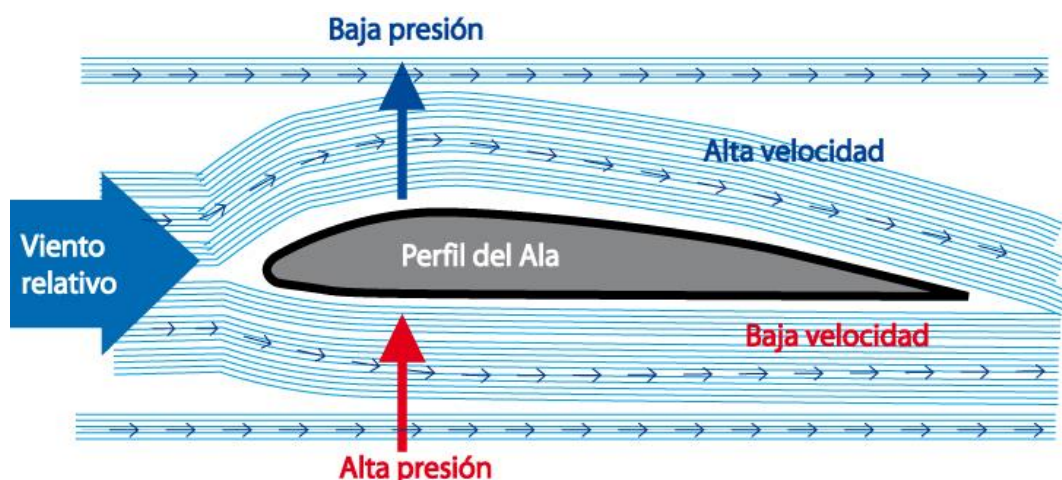


Ilustración 9-6. Dirección del flujo



### 9.2.2. Estudio Aerodinámico

Para conseguir vehículos con mucha carga aerodinámica pero poca resistencia al avance, son necesarios carrocerías muy complejas. Construir y ensayar sobre el vehículo no es un procedimiento viable ya que tendría un coste elevado. Además, el tiempo necesario para obtener los resultados es largo.



*Ilustración 9-7. Estudio aerodinámico*

Existen dos maneras de realizar los ensayos aerodinámicos con una inversión menor tanto de dinero como de tiempo. Por un lado, se encuentra los túneles de viento y por el otro lado los programas CFX.

El túnel de viento consiste en hacer circular aire a través de un conjunto de ventiladores que propulsan el aire. El modelo de la carrocería que se desea ensayar se sitúa en el interior del conducto y se dota de todos los sensores necesarios para recoger los datos que se buscan.

Para que las pruebas sean lo más próximas a la realidad el vehículo suele situarse sobre un suelo en movimiento y así poder simular el movimiento de las ruedas sobre el asfalto y realizar una toma de datos de los ensayos que se propongan en el estudio. Por tanto, el túnel de viento sirve para conocer el comportamiento aerodinámico de un vehículo. Los datos que se extraen son fuerzas y coeficientes aerodinámicos, así como centros de presiones y momentos aerodinámicos.

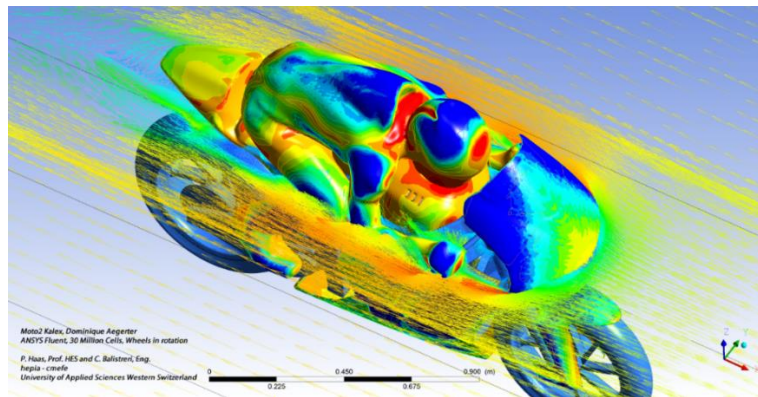


*Ilustración 9-8. Túnel de viento*

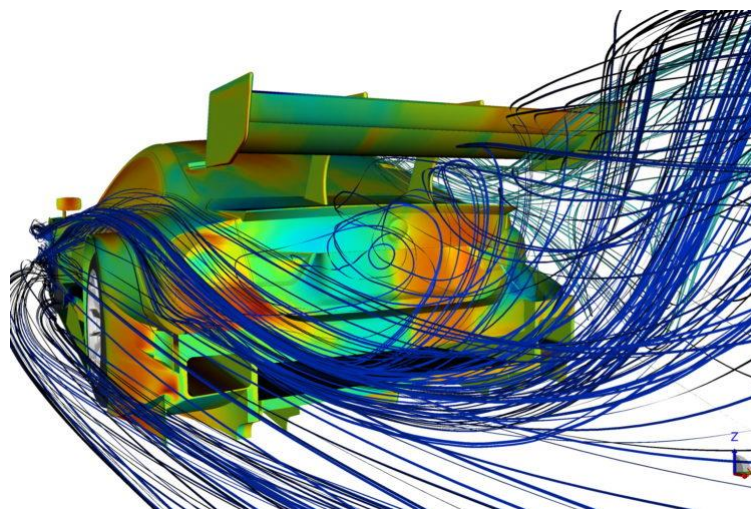
El programa CFX, la dinàmica computacional de fluids hace referencia a las siglas CFD en inglés, es el àrea de la ciencia que trata sobre la simulación numérica de fluids, transferencia de calor y otros fenómenos relacionados. Surge de combinar dos disciplinas diferentes: mecànica de fluids y el càlculo numérico.

Las ecuaciones que determinan el flujo tienen como origen la mecànica de fluids mientras que estas se resuelven por medio de diferentes métodos numéricos. Además, permite resolver problemas en un pequeño rango de tiempo. El programa CFX consta de tres partes: Pre-proceso, Resolución y Post-proceso o análisis de resultados.

Una de las ventajas de este método es que permite corregir cualquier error de diseño cambiando algunos de los parámetros del programa, Esto permite agilizar el proceso de simulación y hace que sea el método idóneo para llevar a cabo este proyecto.



*Ilustración 9-9. Programa CFX motocicletas*



*Ilustración 9-10. Programa CFX automóvil*

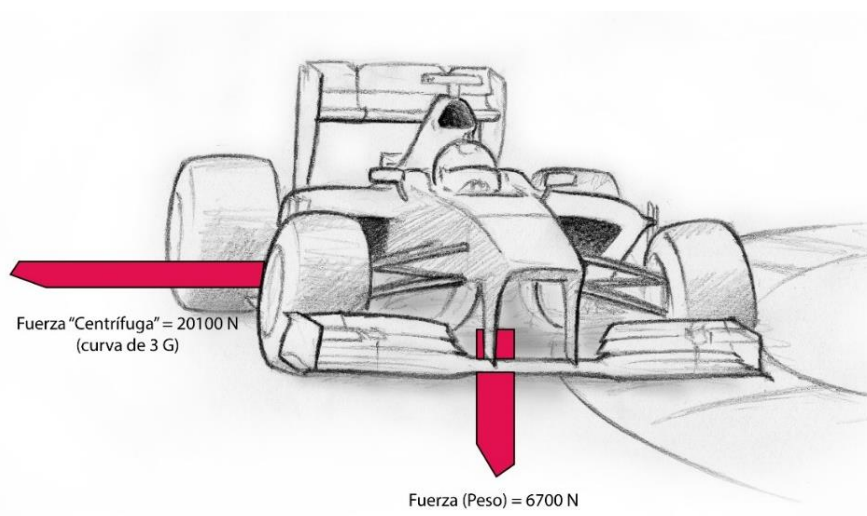
### 9.2.3. El alerón

Durante la historia la aerodinámica ha ido evolucionando aumentando su nivel de complejidad. La aerodinámica se observa más en el sector de competición ya que centran todo el interés en reducir la resistencia al avance del vehículo. Con este objetivo los vehículos de competición empezaron a adquirir forma de punta o de gota, más aerodinámicos, con una forma más suave en la carrocería, y a reducir las alturas de los propios vehículos. El objetivo principal que tenían era conseguir mayor velocidad punta en las rectas.



*Ilustración 9-11. Alerón de competición*

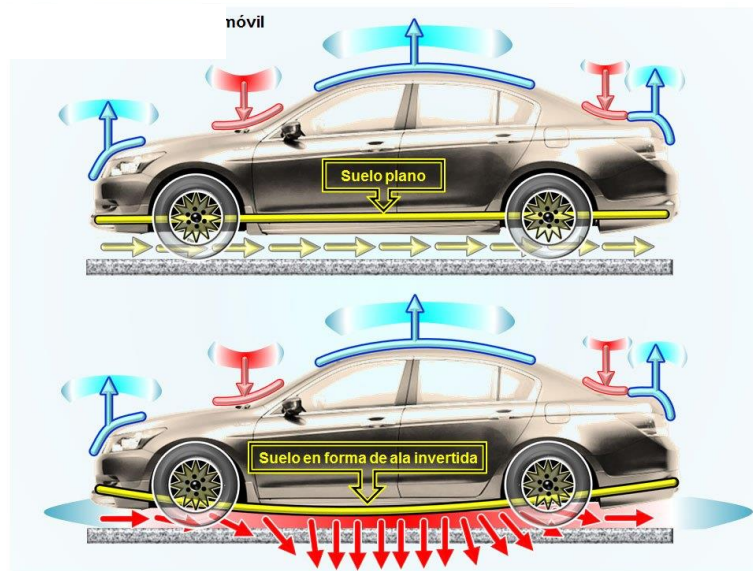
En la década de los 60, se introdujeron los primeros elementos aerodinámicos que pretendían generar fuerzas de sustentación, para crear una fuerza vertical en dirección al suelo que permitía una mayor tracción y agarre en las curvas a la hora de trazarlas. El problema de dicha fuerza (presión), en vez de mejorar podía empeorar, ya que dependiendo del diseño que se generase podría frenar el automóvil.



*Ilustración 9-12. Mayor tracción y agarre*



Fue a partir de entonces y tras corroborar la mejora de rendimiento en los vehículos, se empezaron a utilizar alerones de forma habitual en todas las competiciones. Hoy en día, los alerones son partes muy complejas de un vehículo de competición. Ya no son una simple ala invertida, sino es un conjunto de elementos estudiados al detalle que hacen fluir el aire de la manera correcta para obtener mayor “downforce” posible y provocar menor resistencia al avance en aquellas zonas donde se detecte que pueda haber una mejora importante.



*Ilustración 9-13. Fuerzas que afectan al monoplace*

En cualquier caso, los turismos que circulan por la calle su aerodinámica no es un factor determinante, pero si puede ser un factor a tener en cuenta. No se interesa que ningún elemento ofrezca una resistencia adicional ya que se puede ocasionar un mayor gasto de combustible. En este caso, un alerón puede ayudar a canalizar las turbulencias de aire que se pueden producir en la parte trasera del vehículo, pero se reduce la adherencia de las ruedas sobre el suelo, sobre todo en turismos de tracción trasera, haciéndolos menos eficientes.



*Ilustración 9-14. Alerón de un turismo de calle*

## 9.3. AMPLIACIÓN DE CONCEPTOS TEÓRICOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS

A continuación, se explicarán todos los tipos de flujos que pueden aparecer en un estudio aerodinámico.

### 9.3.1. Flujo estacionario y no estacionario

El flujo de aire se define como un fluido en movimiento. El flujo se suele describir en función de ciertas variables físicas tales como, presión, densidad, velocidad y temperatura. Cuando estas variables características son constantes en el tiempo se trata de un flujo estacionario. En esta situación las variables del fluido en un punto serán constantes a lo largo del tiempo y, por tanto, todas las partículas del fluido que llegan a un determinado punto seguirán moviéndose a lo largo de la línea corriente que pasa por ese punto.

En caso que el flujo sea no estacionario el valor de las variables características en un punto de flujo puede variar de un instante de tiempo a otro, Pudiendo cambiar de dirección las líneas de corriente, por lo que una partícula puede seguir una línea de corriente en un instante y otra en otro instante de tiempo.

### 9.3.2. Flujo laminar y turbulento

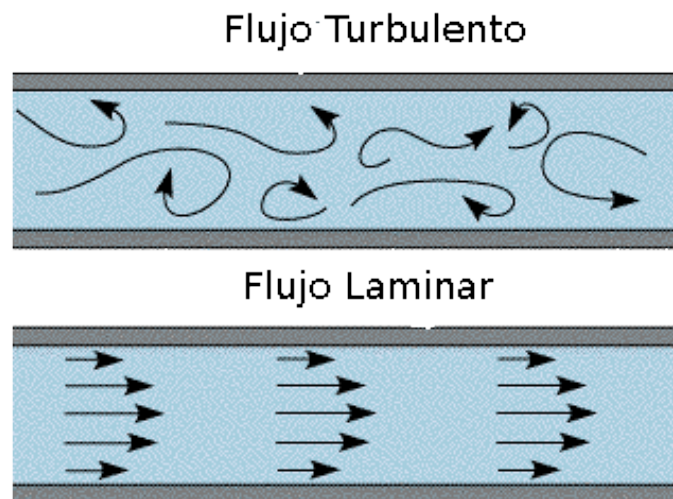
Se define como flujo laminar aquel fluido que se mueve en capas o láminas. Deslizándose suavemente una capa sobre la otra con un solo intercambio molecular de cantidad de movimiento. Este flujo es ordenado y estable con fuerzas viscosas que resisten el movimiento relativo de las capas adyacentes.

El flujo turbulento, en cambio, es un flujo desordenado y caótico. Se suele caracterizar por trayectorias circulares erráticas y remolinos. En este tipo de flujo las fuerzas viscosas son muy pequeñas en relación a las fuerzas inerciales.

Para determinar el comportamiento laminar o turbulento, se utiliza el *Número de Reynolds (Re)*. Este parámetro adimensional relaciona la densidad de u fluido, su velocidad y su viscosidad con la longitud característica del problema de estudio tal y como se muestra:

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu}$$

Por tanto, para los valores del número de Reynolds inferiores a un valor crítico, las fuerzas de viscosas serán predominantes y el flujo tendrá un comportamiento laminar. Por otro lado, para valores superiores, las fuerzas predominantes serán las inerciales, tratándose entonces de un flujo turbulento. El valor entre el flujo laminar y turbulento no se realiza de forma inmediata, sino que existe una zona de transición laminar a turbulenta que oscila entre los valores de 2300 y 4000 Re.



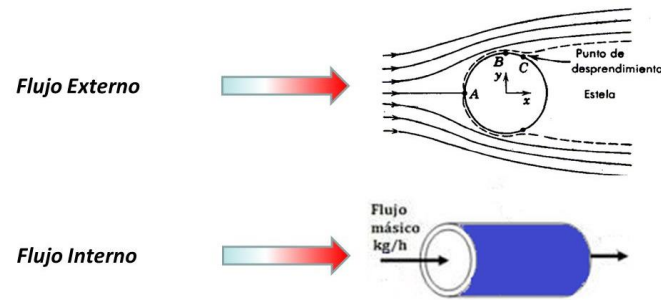
*Ilustración 9-15. Flujo laminar y turbulento*

### 9.3.3. Flujo interno y externo

Según la extensión del campo de fluido estos se pueden clasificar en internos, si la región está limitada por paredes, o externos, si el flujo no está confinado y el centro de atención está en el patrón de flujo alrededor de un cuerpo sumergido en el fluido.

En ambos casos, existe una interacción entre fluido y el sólido y por tanto existe un gradiente de velocidad en el fluido, la capa límite. En el caso de los flujos internos en tuberías y canales los efectos de viscosidad de la capa límite son capaces de extenderse a lo largo de todo el flujo, produciendo pérdidas de energía considerables.

Por otro lado, los flujos externos se consideran no viscosos en casi la totalidad del flujo, a excepción de la capa límite del sólido sumergido, donde están confinados los esfuerzos cortantes. Podrían llegar a afectar localmente al campo del flujo.



Il·lustració 9-16. Flujo externo e interno

### 9.3.4. Flujo compresible e incompresible

Un fluido se considera compresible o incompresible según si este sufre o no variaciones de su densidad mientras fluye. La incompresibilidad es una aproximación ya que todos los fluidos se comprimen en mayor o menor medida, siendo los gases mucho más compresibles que los líquidos. Para determinar si las variaciones de la densidad son lo suficientemente pequeñas como para utilizar la aproximación de flujo incompresible se utiliza el *Número de Mach* ( $Ma$ ):

$$Ma = \frac{U}{a}$$

Además, los flujos compresibles se pueden dividir en subsónicos, sónicos o supersónicos según el *Número de Mach* es inferior, igual o superior respectivamente, es decir, si la velocidad del fluido es superior o inferior a la velocidad del sonido en ese medio.

El flujo supersónico provoca una irreversibilidad en el flujo denominada onda de choque. Esta irreversibilidad, de un espesor de micrómetros, produce una discontinuidad en las variables termodinámicas del fluido, creando variaciones de presión y temperatura. Este fenómeno se puede producir tanto en flujos internos como externos y en ambos casos la onda de choque separa el flujo supersónico del subsónico.



Il·lustració 9-17. Flujo compresible e incompresible