



OPEN FOAM

Ecuaciones de Fluidos
que resuelve openFoam con FVM

21 de Abril de 2015

OPEN FOAM

Introducción: openFoam sirve para extender resolvers numéricos de fluido mecánica u otras materias de ingeniería, a la categoría C++

OPEN FOAM

Conceptos claves:

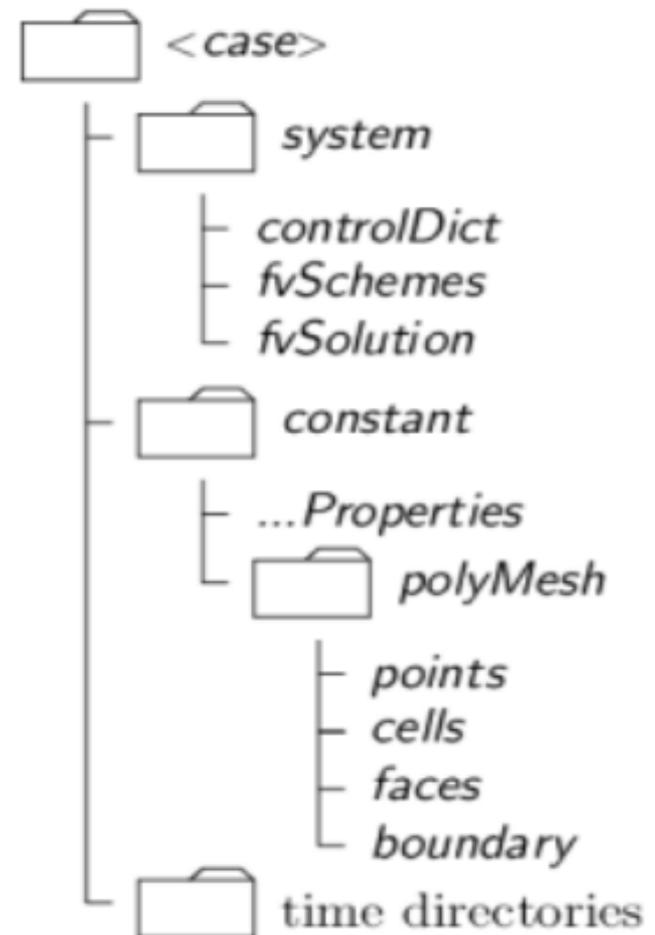
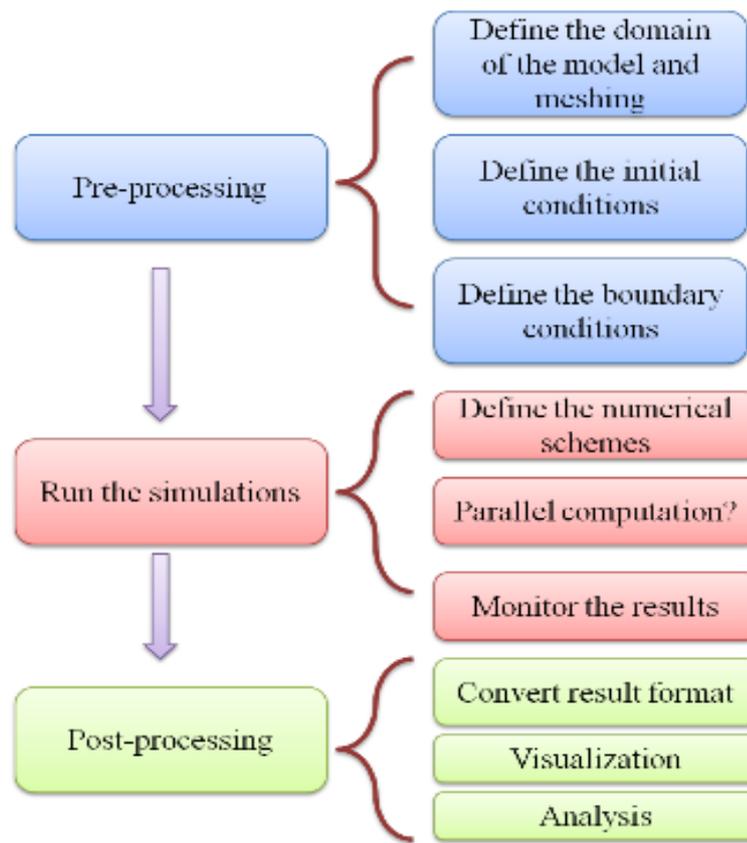
- RANS: Aplicable...
- LES: Aplicable ... pero con cluster...
- DNS: Aplicable.... pero en 20 años más...

Conceptos no tan claves (pero importantes).

- Turbulencia.
- No linealidad
- Sistema bifásico.
- Rugosidad (en 3D).

OPEN FOAM

➤ Basic steps for a modeling task



OPEN FOAM

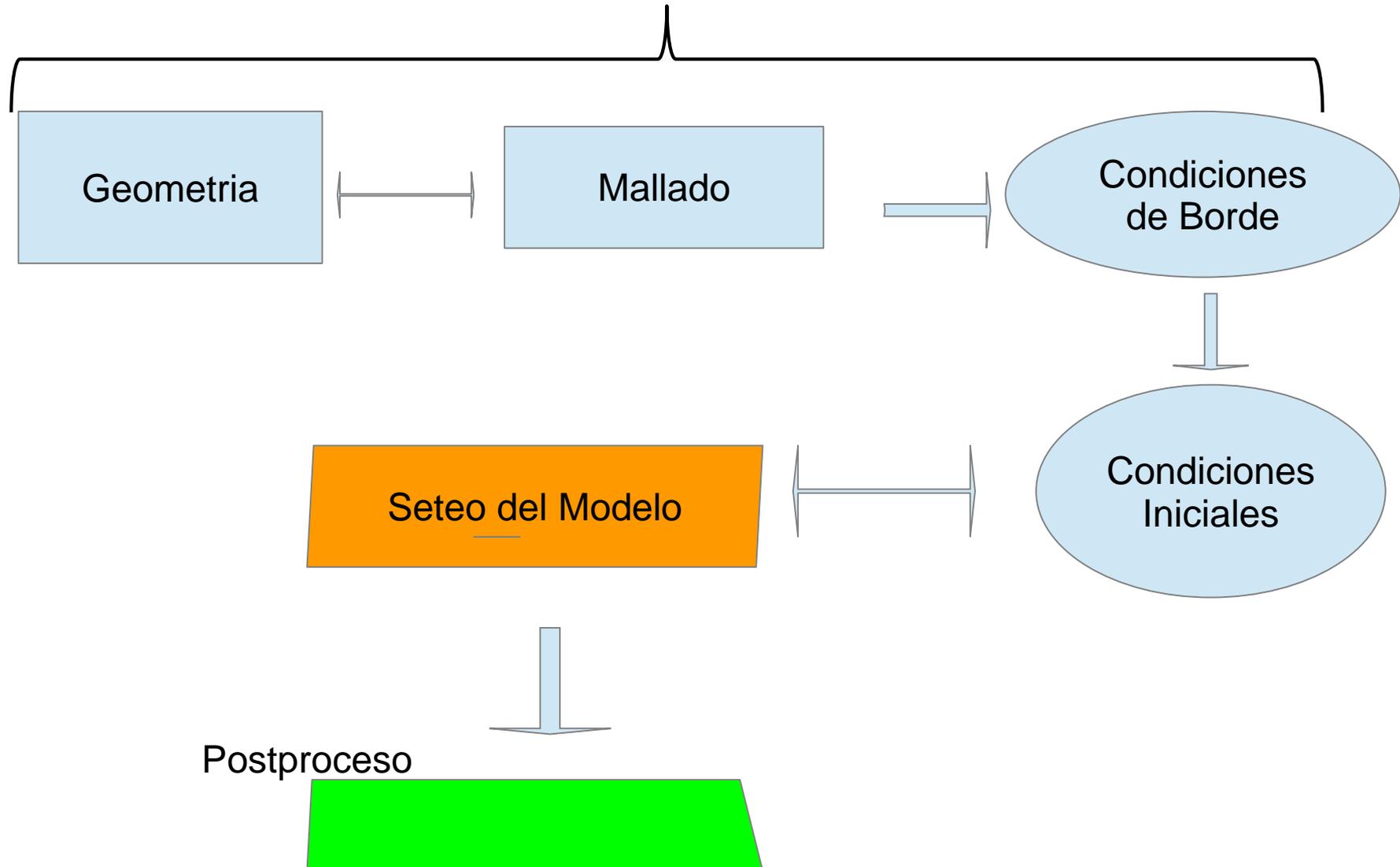
PARA LOS QUE TIENEN ALMA DE MOLUSCO:

- 1. LA ESTRUCTURA DE CARPETAS ES UNICA!!!!**
- 2. LOS ARCHIVOS TAMBIEN**
 - a. No pueden cambiar de nombre**
 - b. No pueden estar en cualquier parte**

LA MEJOR OPCION:
ADAPTARSE AL ESQUEMA....

Procedimiento...

PREPROCESO.... (EL FLOJO TRABAJA DOS VECES)

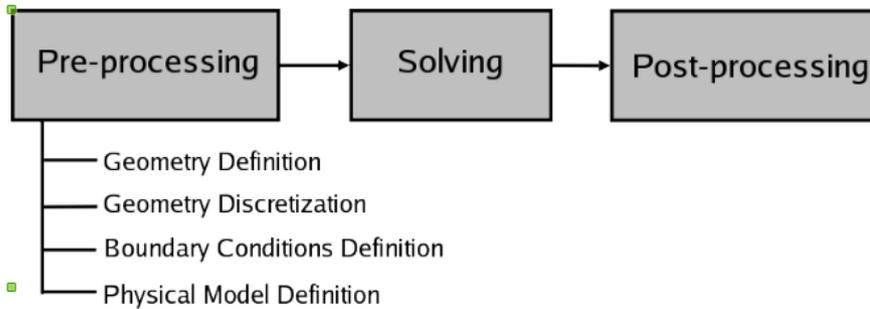


OPEN FOAM

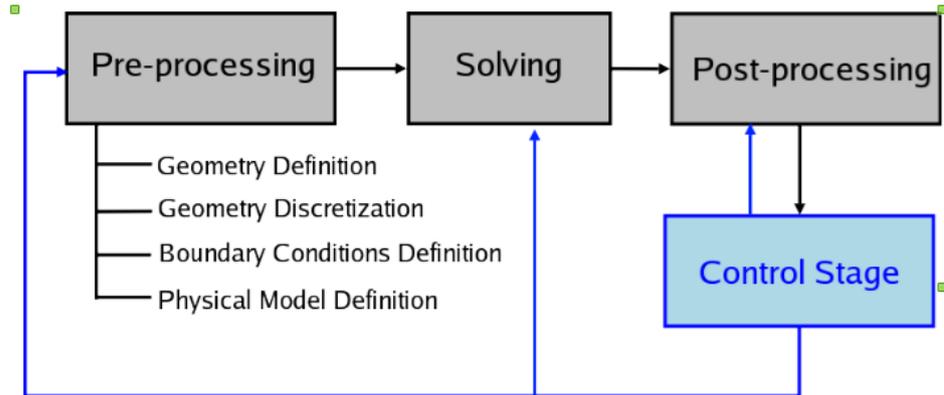
MÁS ADELANTE....

DEBEMOS TENDER A UNA METODOLOGÍA CFD INTERACTIVA

NO
INTERACTIVA



INTERACTIVA



“Control” is the Key!

Algo sobre la configuración de OPENFOAM

- Para configurar openfoam con diferentes versiones. Hay que modificar el archivo `.bashrc`. Tal como se muestra a continuación...

```
### OPENFOAM ###
```

```
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6-ext/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6-ext.GPU/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.7.1/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.0.x/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.1.1/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.0/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.3.0-debug/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.3.x/etc/bashrc
```

```
### OPENFOAM ###
```

```
### OPENFOAM ###
```

```
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6-ext/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.6-ext.GPU/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.7.1/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.0.x/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.1.1/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.0/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.3.0-debug/etc/bashrc
# source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-2.3.x/etc/bashrc
```

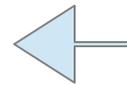
```
### OPENFOAM ###
```

Algo sobre la configuración de OPENFOAM

Y del mundo linux... para encontrar archivos existe el comando find:

```
$ find location comparison-criteria search-term
```

```
find $FOAM_SOLVERS -name "*fvPatch*"
```



Busca en la carpeta de los solver de openfoam aquellos que tienen el texto fvPatch (que por lo general son condiciones de borde)

```
find ./test -name "abc.txt"
```

```
$ find ./test -name "*.php"
```

```
$ find ./test -maxdepth 2 -name "*.php"
```

```
$ find ./test -not -name "*.php"
```

Algo sobre la configuración de OPENFOAM

Y del mundo linux... para encontrar texto dentro de archivos se puede ocupar el siguiente comando:

```
$ grep -r -n LES $FOAM_SOLVERS
```

Util para buscar información complementaria dentro de los archivos de openfoam. El siguiente comando es para buscar en los ejemplos de tutorial, los archivos que usan la condición de borde "slip"

```
$ find $FOAM_TUTORIALS -type f | xargs grep -sl 'slip'
```

Para encontrar en que parte del código fuente se encuentra la condición de borde de "slip" se puede usar:

- `find $FOAM_SRC -name "*slip*"`

Documentación de Openfoam

- OpenFOAM® Doxygen documentation
 - The `$WWM_PROJECT_DIR/doc` directory contains the Doxygen documentation of OpenFOAM
 - Before using the Doxygen documentation, you will need to compile it. To compile the
 - Doxygen documentation, from the terminal:
 - `cd $WWM_PROJECT_DIR`
 - `./Allwmake doc`

Note: You will need to install `doxygen` and `graphviz/dot`

- After compiling the Doxygen documentation you can use it by typing:
 - `firefox`
`file://$WWM_PROJECT_DIR/doc/Doxygen/html/index.html`

OpenFoam → Ahorremos agua... Dato computin!

Intensive IO (Input - Output)

- If you are doing intensive IO or running big cases, I highly advise you to [save the solution in binary format](#). When using binary format, the IO is a way much faster and the output files use less space.
- Remember, you [can get a performance gain](#) when you save in binary format as you minimize any requirement for parsing.

- If OpenFOAM® binary format is not good enough for you, you can try another format. For instance you can use [HDF5 format](#) with OpenFOAM®.
<http://openfoamwiki.net/index.php/Contrib/IOH5Write>

- Know your hardware, intensive IO can slow-down your computation or explode your system, even the most powerful supercomputers.
- For big simulations, most of the times the bottleneck is the **IO**.
- No need to say that eventually you will run out of space if you are working with big files.

Geometria

- Geometria (para Hacerlo bien, y sabiendo que vamos a editar)
 - Idealmente usar un software paramétrico de solidos
 - OPEN SOURCE
 - Freecad
 - SALOME
 - Opencascade
 - Comercial
 - INVENTOR
 - SOLIDWORKS

Geometria

- Geometria (para Hacerlo rápido y fácil, claro que más lento para la edición)
 - Programas de Modelado 3D
 - OPEN SOURCE
 - BLENDER
 - Comercial
 - 3DSTUDIO MAX
 - AUTOCAD
 - FREE
 - SKETCHUP

Geometria

- Recetas de Cocina.... para OPENFOAM.
 - Chequear bordes (en lo posible evitemos aristas bruscas, si es que se puede...)
 - Deben ser sólidas, cerradas.
 - Simples!!!! mucho triángulo → peligro! ... (el pobre algoritmo de búsqueda podría manearse!)
- Formato STL (compatible con openfoam)
 - Guardar en ASCII
 - Ojo con unidades (cm. a m., etc)

Buena Geometria → mallado facil



Geometria

- STL

- Se puede exportar por parte
 - Eso sirve para hacer parches más fácil. (por ejemplo si usamos HELYX_OS)
- Se puede considerar el STL como el dominio.
- Exportar en **ASCII**
- Chequear que sea consistente:
 - Usar las herramientas de openfoam (P.E. surfaceCheck)
 - Netfab (con el gratis estamos listos)

Geometria

- Geometría del Dominio
 - Setear con archivo [BlockMesh](#)
 - Otros
 - Blender con swiftblock
 - Helyx – os
 - SALOME

Mallado

- Tendiendo Buena Geometría
 - 70% del trabajo Hecho!
 - Buena Geom → Buen Mallado! (NO OLVIDAR)
- Programas para Mallar

– COMERCIALES

- GIDHOME
- POINTWISE
- ANSYS (Mallas para...)
- ETC

OPEN SOURCE

- BlockMesh
- Snappyhexmesh
- Gmesh
- Engrid
- SALOME

Mallado

- CAMINO LARGO... USAMOS EL DE LA CASA.... (pero seguro)
 - **BLOCKMESH**
 - Mejor con Blender (mas facil)
 - **SNAPPYHEXMESH**
 - Varios Tutoriales en ingles
 - Toma tiempo setear los parámetros
 - Cuando todo falla.... mejor volver atras...
- Es altamente recomendable y **NECESARIO** chequear las mallas (sobre todos las grandes)
 - Comando: checkMesh
 - Si falla ... se puede seguir... pero precisión y convergencia no está asegurada
 - En la carpeta (constant(polymesh/sets/) deja un resumen
 - Para visualizar hay que hacer lo siguiente:
 - FoamToVTK -set_type name_of_sets
 - set_type puede ser (faceSet, cellSet, pointSet, surfaceFields)
 - name_of_sets es el nombre del set (en el directorio) (HighAspectRatioCells, nonOrthoFaces, wrongOrientedFaces, skewFaces)
 - Usar Paraview para ver

Mallado

- Podemos Correr con Mallas Mala calidad?

“ Más vale Malla en mano... que

Haciendo Iteraciones volando ”

No era así (el dicho) pero la idea es esa....

osea... se puede.... PERO.....

Mallado

- Podemos Correr con Mallas Mala calidad?
PERO....
 - **Precisión puede ser baja**
 - **El modelo puede explotar**
- Mejor:
 - hacer una malla más fina, pero
convergente!
 - Chequear las métricas de calidad de mallas en
 - `/OpenFOAM/meshes/primitiveMesh/primitiveMesh
Check/primitiveMeshCheck.C.`

Mallado

- Una vez que tenemos la malla...
 - Podemos optimizar un poco mas
 - Usando el comando
 - RenumberMesh. → Esto reorganiza la malla en una numeración que minimiza el ancho de banda de la memoria... en español: “mejora el rendimiento de cómputo”.

Mallado

- Unas ultimas palabras...

Mallar es un mundo, hay que considerar además las **mallas móviles**, para las cuales debemos tener claramente identificado el solver.

por otra parte, debemos tener presente las **mallas autoadaptativas**, las que debiesen a futuro estar implementadas en OPENFOAM.

Condición de Borde

- Habemus Malla.... y ahora que???
- Definir las Condiciones de BORDE
 - Se definen en las carpetas con numeros
 - Si partimos del tiempo 0, entonces la carpeta es la 0
 - Hay que setear todas las variables
 - Para flujos bifásico son
 - Alpha (alpha.water → osea las fases...)
 - U
 - P_rgh
 - K (ec. De cierre)
 - Nut
 - Omega (Ec. De Cierre)

Condición de Borde

- Recomendaciones Finales:
- LA MALLA debe ser lo más ortogonal posible en el borde
 - Esto quiere decir que conviene sacrificar tiempo (/haciendo más grande el dominio), y dejar condiciones de borde suaves). En otras palabras.... los bordes... **lejitos de donde queman las papas...**
 - **Evitemos los gradientes fuertes** en los bordes!!!!

Condición de Borde

- Condiciones de Borde para Simular superficie Libre (Agua con Aire)
 - Veamos un poco de Teoría...
 - Dos grandes tipos de condiciones de borde
 - Dirichlet
 - En lenguaje openfoam “FixedValue”
 - Neumann
 - En lenguaje openfoam “FixedGradient”

Condición de Borde

- Configuraciones la más simple (rusche 2002):

Variable	Muro (no slip wall)	Inlet	Outlet	Symetric plane
U	Fixed value	Fixed value	Zero gradient	Mirror Image
p	Zero gradient	Zero gradient	Fixed Value	Zero gradient
k	Fixed value	Fixed value	Zero gradient	Zero gradient
w (or e)	Fixed value	Fixed value	Zero gradient	Zero gradient
alpha	Zero gradient	Fixed value	Zero gradient	Mirror Image

Condición de Borde

- Respecto de los modelos de turbulencia:
 - Recordar: RAS (Reynolds Average Simulation) es suficiente para interacción fluido estructura.
 - Varias ecuaciones de cierre
 - K-e : Se usa para fluidos ambientales
 - K-w: tiene un buen comportamiento para cercanías a muros
 - K-e RNG: es una versión mejorada de K-e, remueve los efectos de escala pequeña y los representa en la escala grande
 - K-w SST: Menter (1993). Es una combinación en

K => turbulent kinetic energy

e => rate of viscous dissipation

w => turbulence frequency ($w=e/K$)

$$\eta = \left(\frac{v^3}{\varepsilon} \right)^{1/4}$$

$$\varepsilon = \frac{U^3}{L}$$

Condición de Borde (turbulence) para RANS

- Estimar la intensidad de la turbulencia ($I = u'/u$)
 - Con u' velocidad real, u velocidad media (del promedio de reynolds)
 - Cocinando con reynolds...
 - ductos cerrados $I = 0.16 \text{ Re}^{-1/8}$
 - Valores altos son del orden de 1% al 10%
 - En general para escurrimientos superficiales : 0.05%
 - LO MEJOR: MEDIR!!!!

Condición de Borde (turbulence) para RANS

- Estimar el turbulence viscosity ratio
 - $B = \text{Vratio Viscosity turbulence} / \text{Viscosity}$
(laminar)

- En ductos cerrados

Re	3000	5000	10.000	1.5e4	2.0e4	$>10^5$
V ratio	11.6	16.5	26.7	34	50.1	100

- En superficie libre: los valores son bajos
 - $\text{Vratio} = < 1$ tipico 0.2

- Estimar la longitud de escala de los eddys

- Receta 1: 0.07 de la longitud característica (p.e. Radio Hidráulico)

- Receta 2: para flujos con muros, estimar la capa límite, y la escala de longitud sería igual a $l=0.4d$ (con d el espesor de la capa límite)

De donde se calcula:

For the Standard k-epsilon model and variations (RNG, Kato-Launder, Two Layer)

Turbulent Kinetic Energy $\longrightarrow k = \frac{3}{2} (\bar{u} l)^2$

Turbulent Dissipation Rate $\longrightarrow \varepsilon = \frac{0.09k^2}{\beta\nu}$ or $\varepsilon = \frac{0.1643k^{1.5}}{l}$

For the Spalart-Allmaras Model

Turbulent Kinematic Eddy Viscosity $\longrightarrow \nu_t = \beta\nu$ or $\nu_t = \sqrt{\frac{3}{2}} \bar{u} l$

For the k-omega and Menter SST Models

Specific Dissipation Rate $\longrightarrow \omega = \frac{0.09k}{\beta\nu}$ or $\omega = \frac{\varepsilon}{k}$

Condición de Borde

Ejemplo (para un Interfoam de Flujo Bifásico, como el Ancoa):

Patch Name	Alpha	k	omega	P rgh	U
InletAir	fixedValue of 0	fixedValue of 2.16e-4	fixedValue of 0.1470	fixedValue of 0	fixedValue of (0,0,0)
InletWater	fixedValue of 1	fixedValue of 2.16e-4	fixedValue of 0.1470	fixedValue of 0	fixedValue of (0.6,0,0)
outlet	zeroGradient	zeroGradient	zeroGradient	buoyantPressure of 0	zeroGradient
Atmosphere	inletOutlet	inletOutlet of 2.16e-4	inletOutlet of 0.1470	totalPressure	pressureInletOutletVelocity of 0
Front-Back	empty	empty	empty	empty	empty
Bottom Wall	zeroGradient	kqRWallFunction	omegaWallFunction	buoyantPressure of 0	fixedValue of (0 0 0)

OPEN FOAM

Existen otras condiciones de borde...

Muchas vienen en el release oficial...

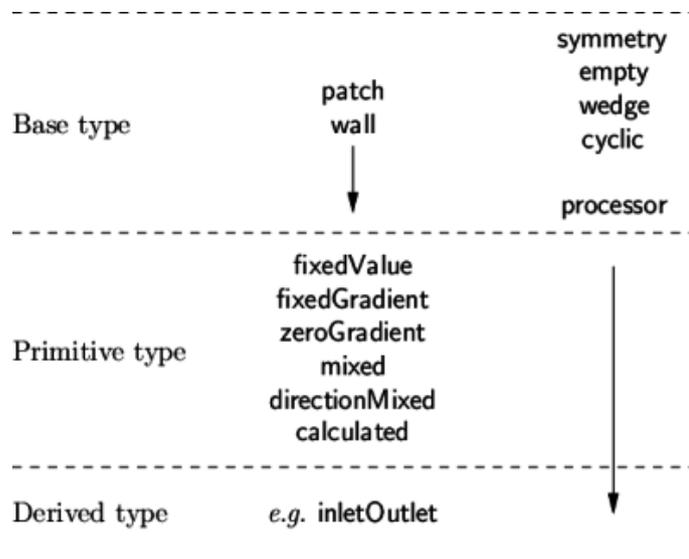
otras se pueden bajar de internet, como por ejemplo las del IHFOAM.

Los más secos:

Las programan en C...

OPEN FOAM

Algunos ejemplos según la versión 2.3.0 oficial.



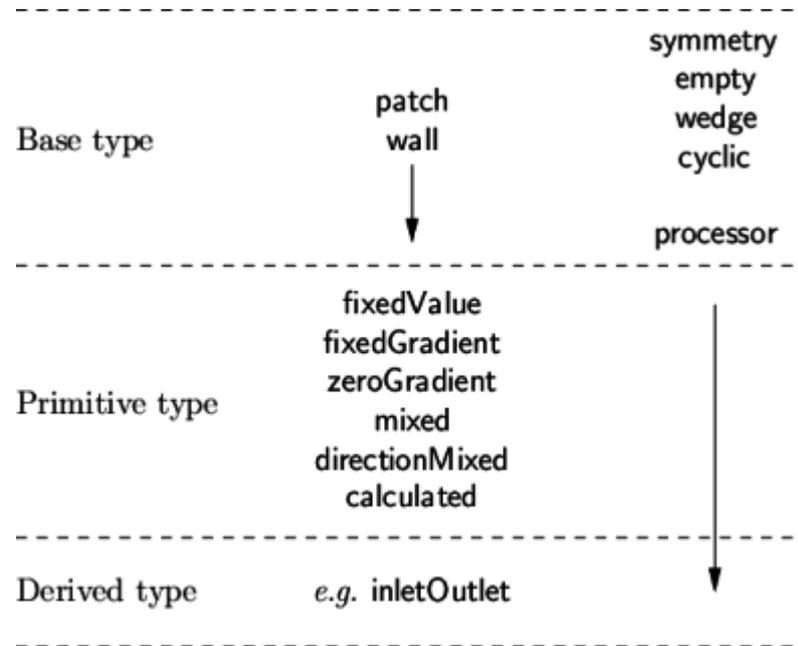
Las derivadas son las más complejas, y hay muchas. Usar la siguiente ruta para acceder a los códigos fuentes:

[\\$FOAM_SRC/finiteVolume/fields/fvPatchFields/derived](#)

Ver también: <http://www.openfoam.org/docs/user/boundaries.php>

OPEN FOAM

Algunos ejemplos según la versión 2.3.0 oficial.

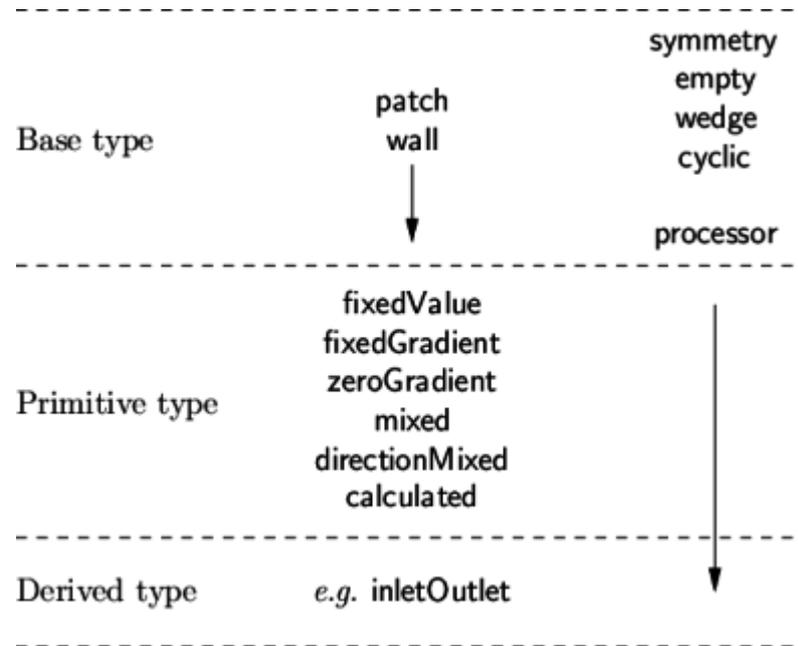


Las derivadas son las más complejas, y hay muchas. Usar la siguiente ruta para acceder a los códigos fuentes:

[\\$FOAM_SRC/finiteVolume/fields/fvPatchFields/derived](#)

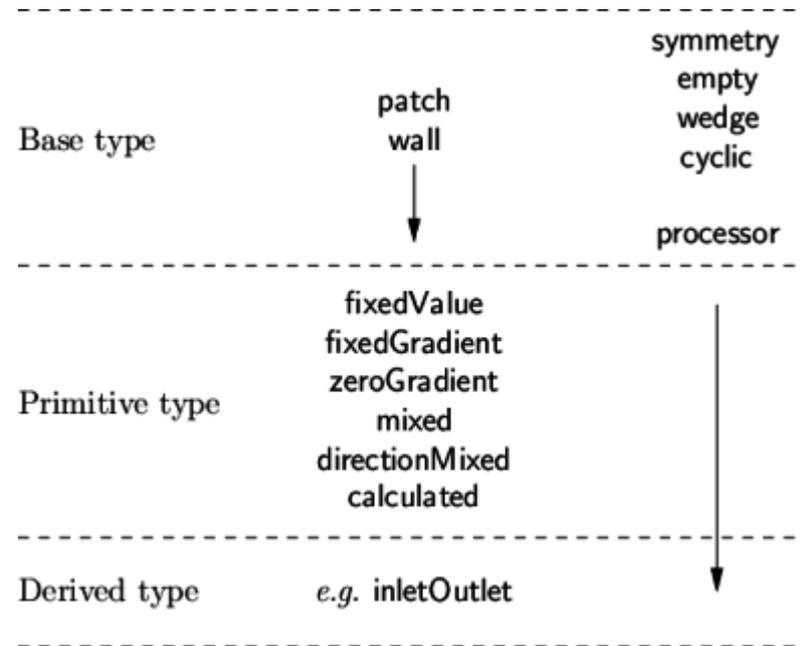
OPEN FOAM

Algunos ejemplos según la version 2.3.0 oficial.



OPEN FOAM

Algunos ejemplos según la versión 2.3.0 oficial.





OPEN FOAM

Fin del curso primera parte