

## *CAPÍTULO 3*

### *REALIZACIÓN DE LA MALLA.*

#### **3.1. Introducción.**

En este proyecto se ha realizado una casuística de mallas, estudiando la influencia que tienen las características de cada una en los resultados obtenidos en la simulación fluidodinámica. Una idea importante a la hora de crear mallas de volúmenes finitos es el refinamiento de la malla, esto se basa en que en las zonas donde los gradientes de las variables que gobiernan el flujo son elevados hacer que los elementos sean mucho menores que en el resto del dominio. Estas zonas suelen coincidir con los vórtices de las zonas de turbulencias y sus proximidades.

Para llevar a cabo la realización de las mallas se ha empleado el módulo de Ansys ICEM CFD 11.0.

#### **3.2. Parámetros para modelar la capa límite.**

Uno de los aspectos esenciales para un óptimo desarrollo del modelo de turbulencia es la correcta modelación de la capa límite. El manual de Ansys CFX establece dos aspectos que condicionan la calidad de la malla en cuanto se refiere a la modelización de la capa límite:

- Mínimo espacio entre la pared y el primer nodo de la malla (Yplus).
- Mínimo número de nodos en el estrato límite.

En primer lugar calculamos el número de Reynolds de nuestro problema:

$$\text{Re} = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu}$$

$U_{\infty}$  : Valor de la velocidad de la corriente fluida uniforme y constante.

$\rho$  : Densidad del aire  
 L: Anchura del puente  
 $\mu$  : Viscosidad dinámica del fluido

$$U_{\infty} = 25 \text{ m/s}; \quad \rho = 1.228 \text{ Kg./m}^3; \quad \mu = 17.08 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}; \quad B = 31 \text{ m};$$

$$\text{Re} = \frac{1.228 \cdot 25 \cdot 31}{17.08 \cdot 10^{-6}} = 5.572 \cdot 10^7 \quad \Longrightarrow \quad \text{RÉGIMEN TURBULENTO}$$

Calculamos el valor de  $y^+$  (y plus), en el manual de CFX Ansys se hace referencia a este valor con la nomenclatura  $\Delta y$ , proporcionando la siguiente fórmula para calcular su valor:

$$\Delta y = L \cdot \Delta y^+ \cdot \sqrt{80} \cdot \text{Re}_L^{-13/14} = 31 \cdot 2 \cdot \sqrt{80} \cdot (5.572 \cdot 10^7)^{-13/14} = 3.55 \cdot 10^{-5} \text{ m} \approx 0.04 \text{ mm}.$$

Se establece la indicación de que para *low-Re- model* se debe de tomar  $\Delta y^+ \leq 2$ .

Se ha tomado un valor de:  $\Delta y^+ = 2$ .

Para calcular el espesor del estrato límite dicho manual nos indica la siguiente fórmula:

$$\delta = 0.035 \cdot L \cdot \text{Re}_L^{-1/7} = 0.035 \cdot 31 \cdot (5.572 \cdot 10^7)^{-1/7} = 0.085 \text{ m} = 85 \text{ mm}.$$

Se establece la condición de que para *low-Re model* el número de nodos en dirección normal a la pared debe de ser como mínimo de 15, que en nuestro caso se sobrepasa.

Aquí, *low-Re model* significa el uso de una mesh fina y uno de los modelos *k-w* (se incluye el modelo SST).

En el caso de que el primer nodo no se encuentre a una distancia justa, CFX Ansys realiza una aproximación asumiendo una forma logarítmica entre la pared y el primer nodo.

En el siguiente apartado se presentará una visualización de todas las mallas que se han realizado, mostrando sus características principales.

### 3.3. Tipologías y dimensiones de las mallas utilizadas.

A continuación se procederá a exponer la evolución de todas las mallas realizadas en el estudio de este problema, exponiendo sus características.

#### ➤ *Malla 1.*

Malla inicial en la que se ha realizado un mayor refinamiento en la periferia de las paredes de la sección del puente.

- Número nodos: 23634
- Número de elementos hexaédricos: 11689

Dimensiones: 100000(altura) \* 248000(ancho) mm

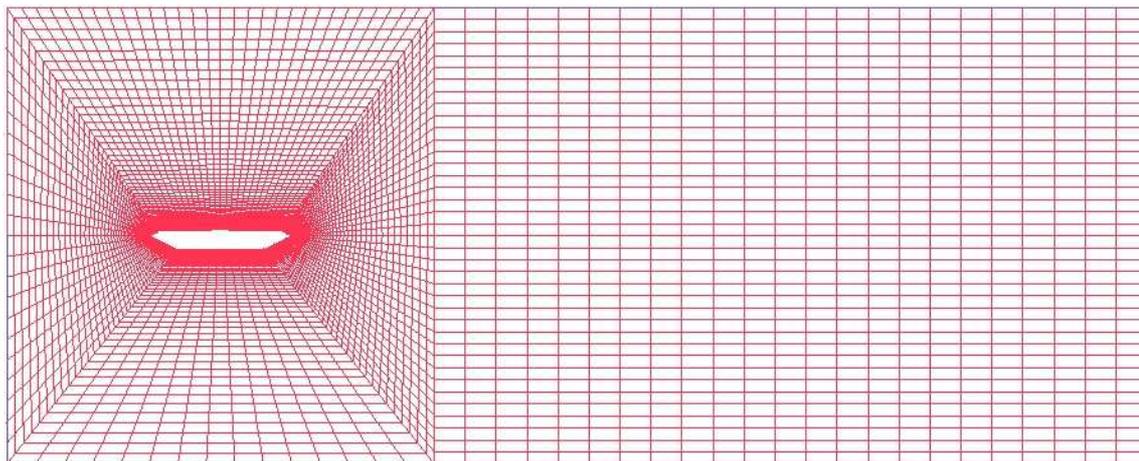


Figura 3.3.1. Ilustración de la malla 1

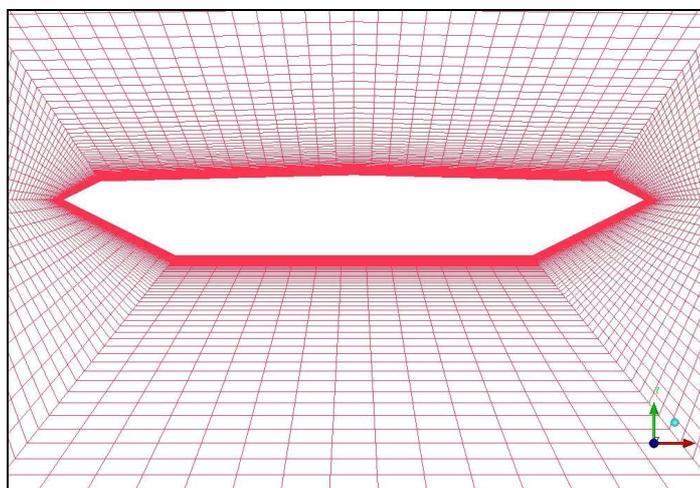


Figura 3.3.2. Detalle del estrato límite para la malla 1

➤ **Malla 2.**

En la malla número 2, se realiza tal y como se aprecia un mayor refinamiento en la banda vertical y horizontal coincidentes con la zona de la sección. Se mejora la malla sobre todo mediante la banda horizontal, debido a que se introduce una mayor concentración de elementos en la zona posterior a la sección que hace que se recojan mejor los efectos de vórtices generados por las turbulencias aguas abajo de la sección.

- Número nodos: 123116
- Número de elementos hexaédricos: 60925

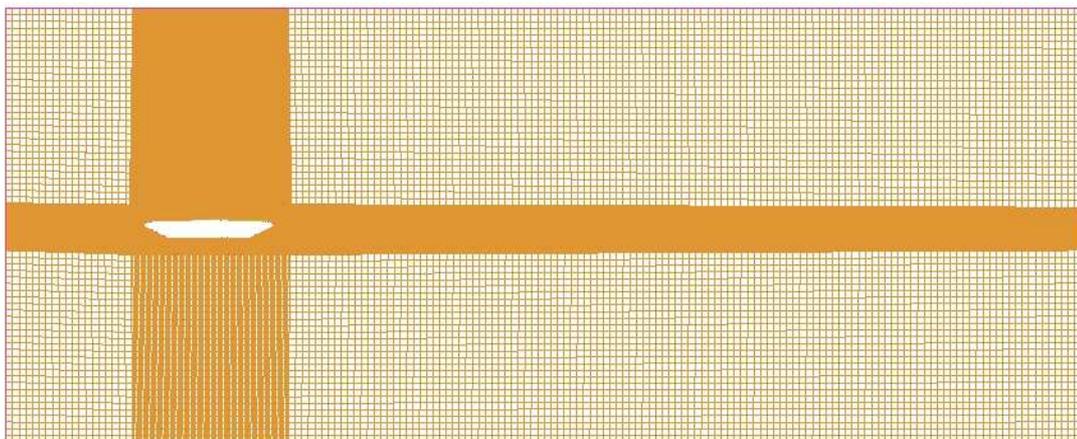


Figura 3.3.3. Ilustración de la malla 2.

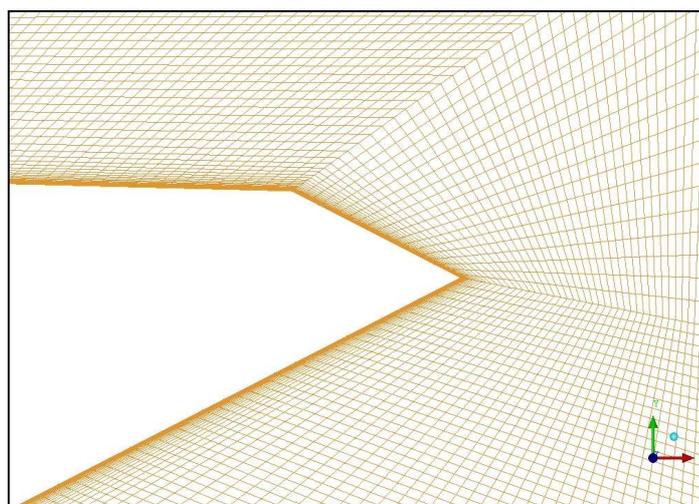


Figura 3.3.4. Detalle del estrato límite de la malla 2.

➤ **Malla 3.**

En la malla número 3, se considera una región alrededor de la sección del puente mucho mayor, tal y como se puede apreciar tomando como referencia las dimensiones de la sección, y también se varía la forma geométrica del contorno así como las propias condiciones de contorno.

- Número nodos: 217600
- Número de elementos hexaédricos: 164539

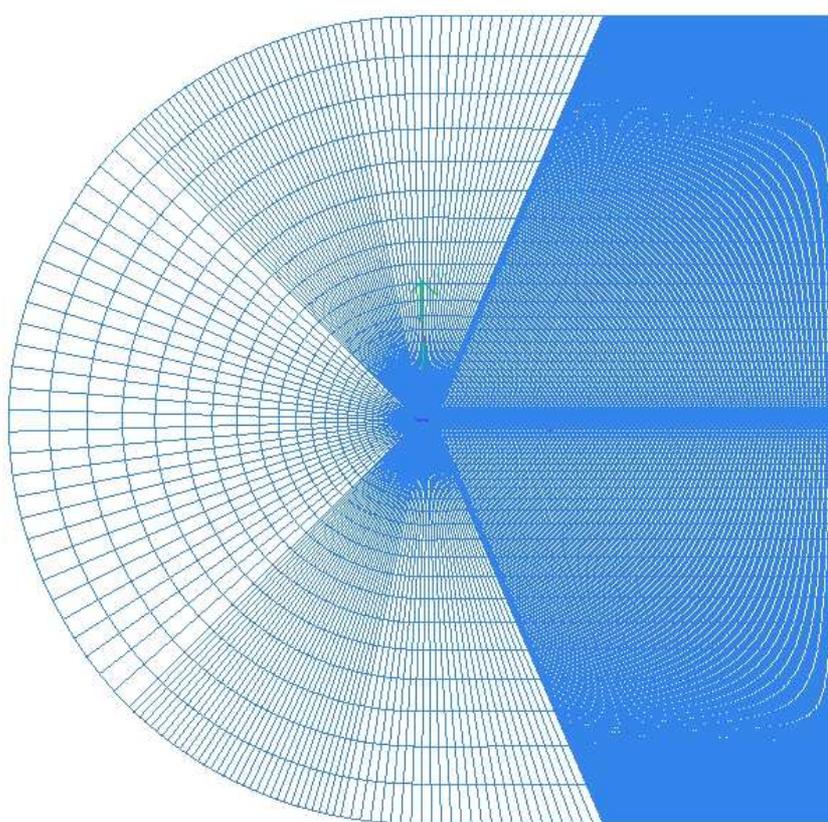


Figura 3.3.5. Ilustración de la malla 5.

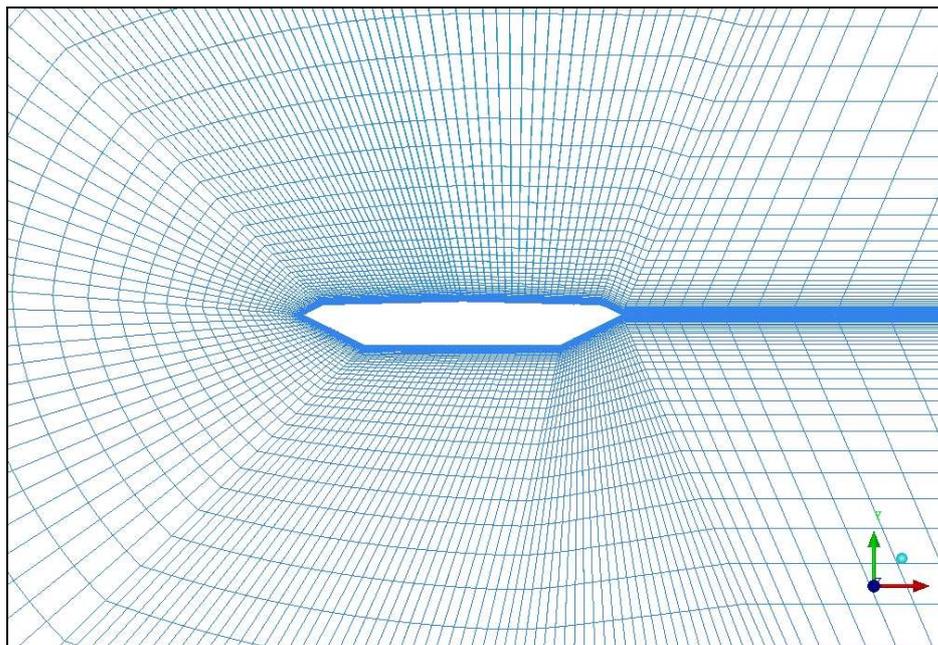


Figura 3.3.6. Detalle de la densidad de la malla 3 en la zona posterior de la sección.

➤ **Malla 4.**

La malla 4 está formada por un contorno elíptico, de dimensiones mayores a la mallas 1, 2 pero menores a la de la malla 3 y con un refinamiento alrededor de la sección.

- Número nodos: 48276
- Número de elementos hexaédricos: 23976

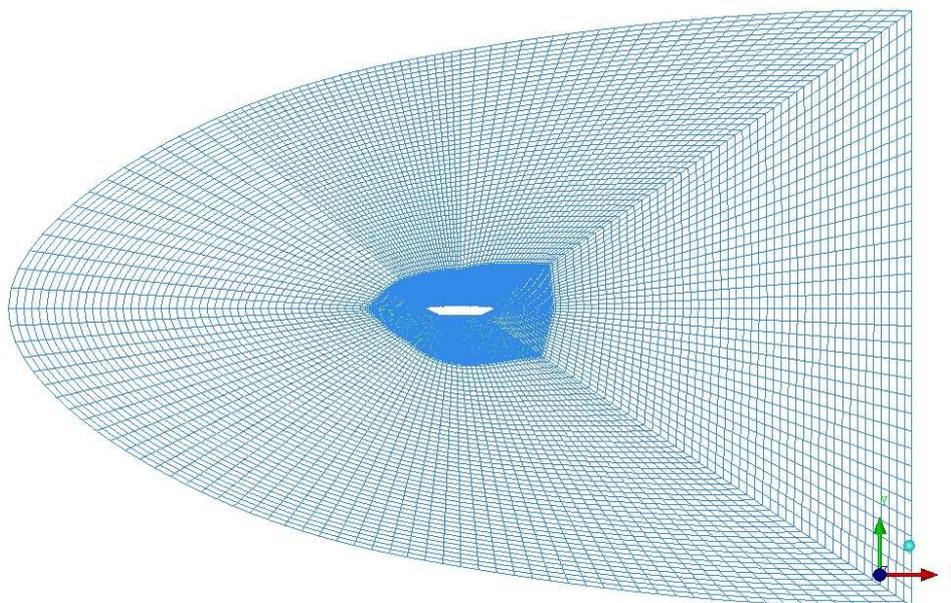


Figura 3.3.7. Ilustración de la malla 4.

➤ **Malla 5.**

La malla 5 geoméricamente es similar a la malla 4 pero mucho más densa, se pasa de 23976 elementos de la malla 4 a los 136604 elementos de la malla 5.

- Número nodos: 275054
- Número de elementos hexaédricos: 136604

La geometría de la malla es una semi-elipse con las siguientes dimensiones:

- Semieje mayor: 403000 mm (eje x).
- Semieje menor: 268666 mm (eje y).
- Profundidad (eje ortogonal al plano): 1000 mm (eje z).

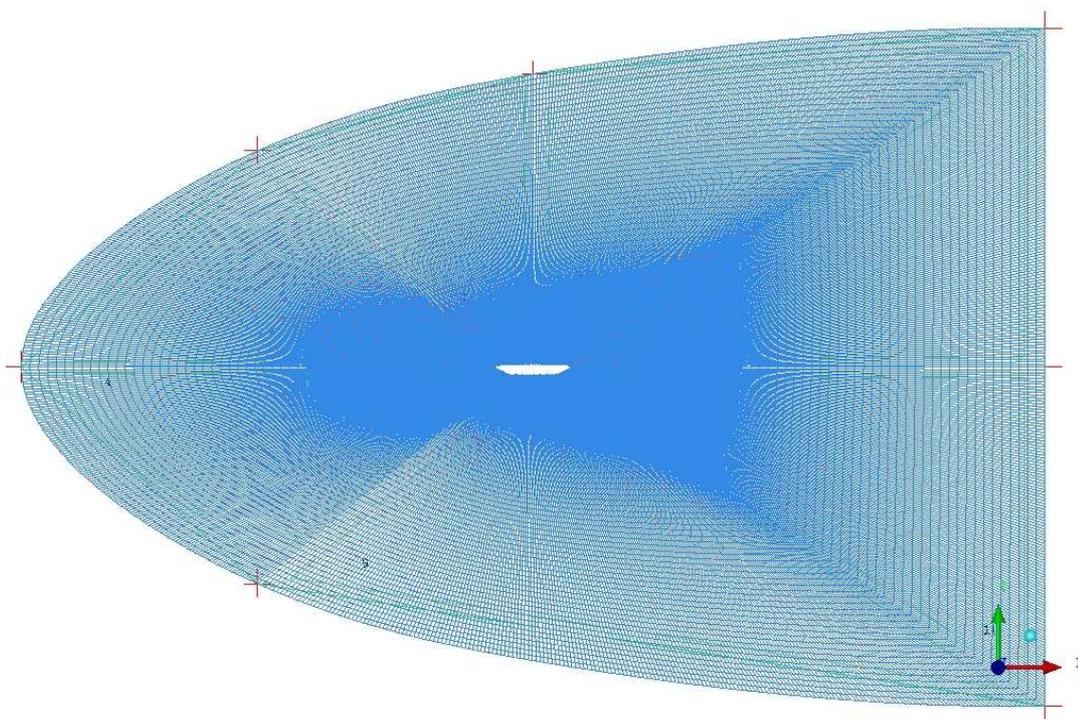


Figura 3.3.8. Ilustración de la malla 5.

Elegiremos la malla 5 para ilustrar el procedimiento de realización de las mallas, así como de las imágenes de los resultados tras realizar la simulación.

### 3.4. Procedimiento de realización de la malla.

Como se ha comentado al inicio del capítulo cada una de las mallas se realizarán con el módulo de Ansys ICEM CFD 11.0, específico para dicha tarea.

A continuación se detallarán los pasos que se han llevado a cabo para la realización de las mallas tomando como ejemplo para dicha ilustración la malla 5, para las otras mallas realizadas se procederá de forma análoga.

1. Realización de la geometría de la sección y del dominio fluido en 2D.

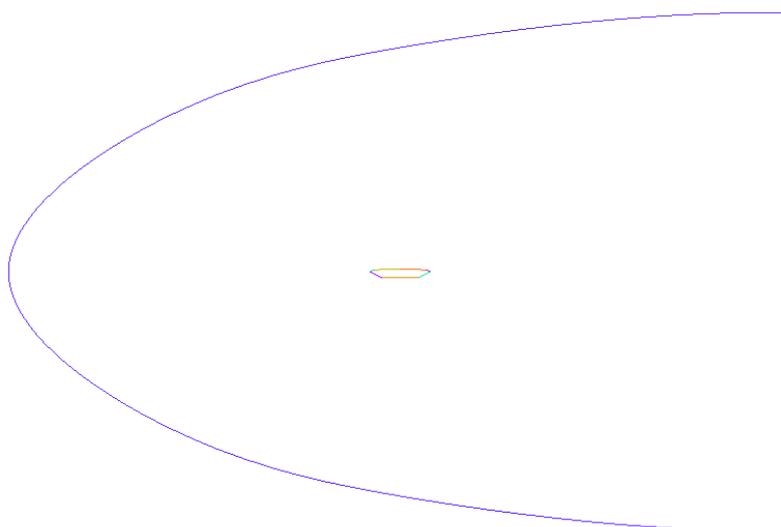


Figura 3.4.1. Contornos de la geometría 2D.

2. Una vez creada la geometría de la sección, y los contornos de dominio fluido, procedemos a crear cada una de las partes, de forma que cuando exportemos la malla al módulo de Ansys CFX podamos aplicar directamente las diferentes condiciones de contorno. Estas partes se realizarán sobre los contornos 2D, y cuando realicemos la extrusión en el eje ortogonal al plano (eje z) se pasará automáticamente a considerar cada parte como la superficie formada a partir de la extrusión.

Sobre esta malla ilustrada en particular se realizarán las siguientes partes:

- *Inlet*. (Curva elíptica azul).
- *Outlet*. (Recta vertical verde).
- *Section*. (Sección del puente Great-Belt).
- *Symmetry 1*. (Superficie comprendida entre las curvas anteriores de contornos exteriores y la sección del puente, es decir, el dominio fluido).

3. Creamos una partición del dominio, de forma que cada partición vendrá ocupada por un bloque, sobre los cuáles se especificarán las características que deseamos para la malla. Todo esto se realiza sobre una ficticia malla denominada pre-mesh. Cuando finalizamos este proceso de diseño y obtenemos las características finales deseadas, realizamos el paso de la transformación de la pre-mesh a la mesh definitiva.

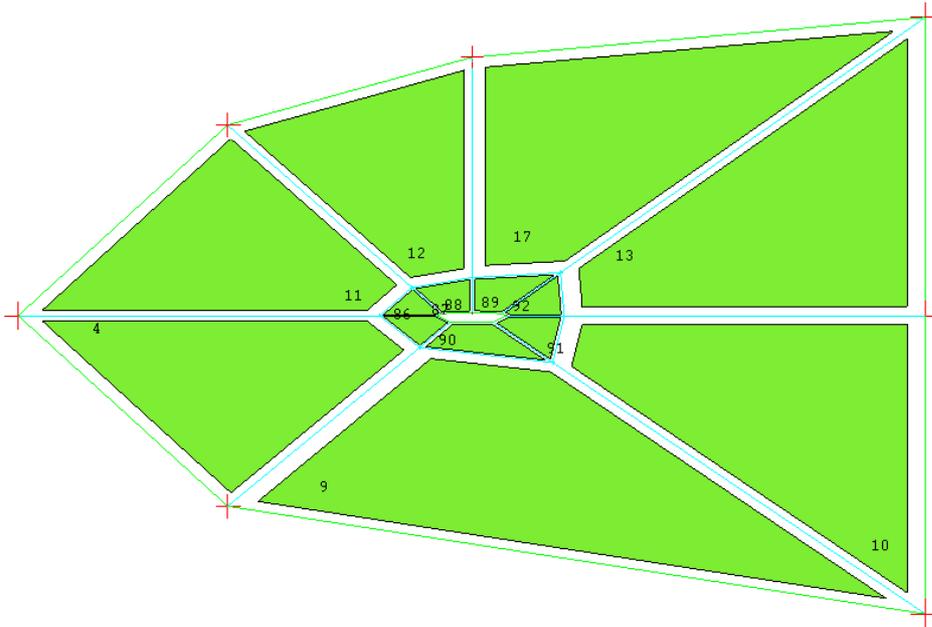


Figura 3.4.2. División del dominio fluido en estructura de bloques.

4. Realizamos la extrusión de nuestra malla en 2D, en la dirección del eje z para conseguir la malla 3D final. La profundidad de esta extrusión será de 1000 mm. Al realizar esta operación se especifica la creación de la parte *Symmetry 2*, como la cara resultante al final de la extrusión ( $z = 1000$  mm), y simétrica a la anteriormente creada *Symmetry 1*.

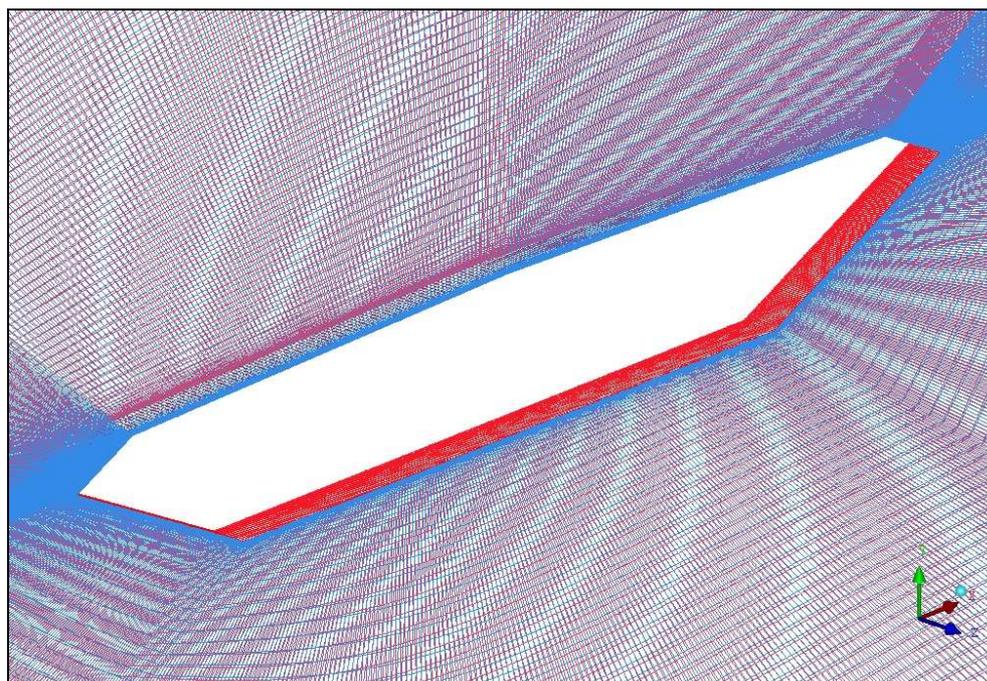


Figura 3.4.3. Detalle de la malla tridimensional, creada después de la extrusión.

5. Antes de exportar la mesh, se realizará un desplazamiento de la misma para centrarla respecto el origen (0, 0,0).

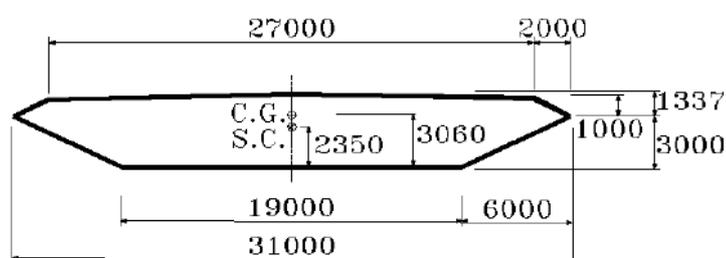


Figura 3.4.4. Dimensiones de la sección del puente del Great -Belt.

El desplazamiento que se debe realizar es de:

$$\Delta x = -15500 \text{ mm} ; \quad \Delta y = -60 \text{ mm}; \quad \Delta z = -500 \text{ mm};$$

Con este desplazamiento de la malla desplazamos el origen de coordenadas de la esquina izquierda de la sección (donde se encontraba inicialmente) al centro de gravedad (C.G.), tal y como se puede apreciar en las figuras 3.4.5 y 3.4.6. Mediante este desplazamiento obtendremos un valor nulo de los momentos  $M_x$  y  $M_y$ , de forma que sólo nos encontraremos con la componente de momento  $M_z$ .

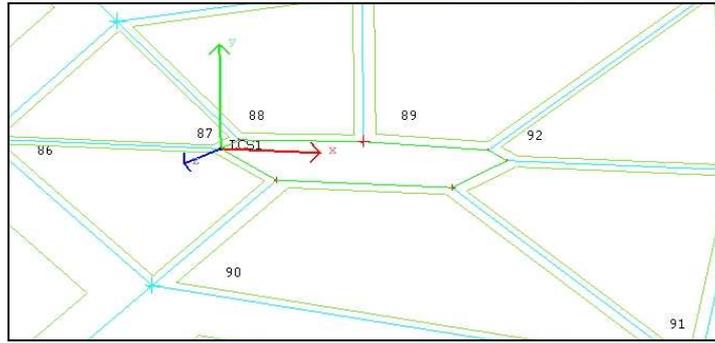


Figura 3.4.5. Detalle de la posición inicial del origen del sistema de coordenadas.

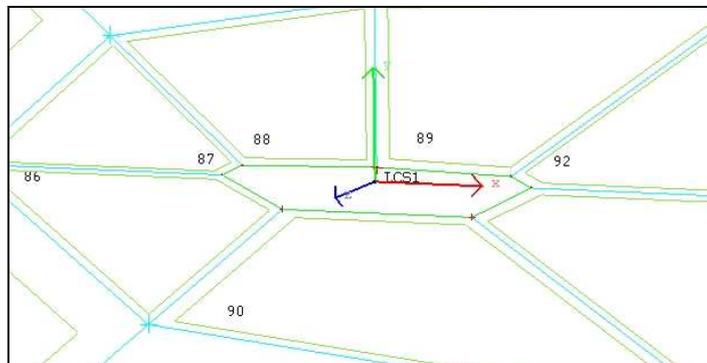


Figura 3.4.6. Detalle de la posición final del origen del sistema de coordenadas tras su desplazamiento.

6. Antes de realizar la exportación a CFX Ansys la malla la escalamos por el factor  $1/1000$ , de forma que la tengamos en metros ya que se trabajará en las unidades del Sistema Internacional.