



3.3 PROTOCOLO DE SIMULACIÓN CFD PARA CÁLCULO DE COEFICIENTES DE PELÍCULA

rafael salmeron

Consideraciones sobre las simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamics)

El modelado computacional de posibles comportamientos de flujos de aire en espacios es la única forma viable de analizar velocidades, movimientos de aire, posibles turbulencias, etc. en situaciones cada vez más complejas como son los flujos turbulentos ante diferentes configuraciones de espacios, y de entradas o salidas del aire.

Es por esto por lo que parece necesario dejar por escrito las consideraciones que se entienden como indispensables para la simulación en CFD de ventilación en espacios con configuraciones típicas.

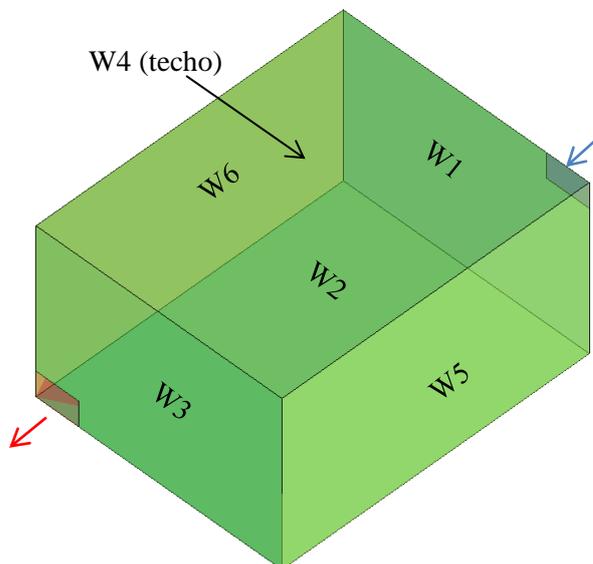
Recintos con ventilación forzada

Datos de entrada y objetivos de cálculo.

El objetivo será la obtención del “Coeficiente de película” en cada superficie, lo que implica una necesidad de modelar la zona cercana al muro de la manera más precisa posible, y por tanto es necesario escoger la variante de “**Protocolo de Alta precisión**”.

Generación de geometría.

En este caso se genera la geometría especificada previamente bajo el software CATIA V5. Sin embargo, dada su simpleza podría generarse con el propio software de ANSYS Geometry, o incluso con ANSYS ICEM.



Es necesario remarcar que las rejillas se modelan como dos superficies, y el recinto encerrado donde estará el aire como un sólido.

Además, se puede apreciar la nomenclatura elegida para la posterior referencia a cada una de las superficies en pasos posteriores.

Figura 1.1. Geometría generada para el recinto a estudiar.

Selección del modelo turbulento.

Los tres modelos recomendados para este tipo de aplicaciones son: k- ϵ RNG, k- ϵ Realizable, k- ω SST.

Como buscamos una contrastación y validación del método aplicaremos los tres modelos turbulentos simultáneamente, ya que así se podrá evaluar el comportamiento de estos en función a la validez jerárquica expuesta en el apartado “Resultados” de dicho capítulo.

Selección del tratamiento cercano al muro.

A su vez, al tratarse de la variante de “alta precisión”, es obligada la utilización de un tratamiento en pared que implique la resolución al completo de toda la capa límite turbulenta, incluida la zona dominada por la viscosidad.

Esto es, en los modelos k- ϵ , la opción de “Enhanced Wall Treatment”, mientras que en el modelo k- ω , la única opción permisible es la resolución completa de la capa límite, por tanto no es necesario realizar ningún cambio.

Mallado con Método Principal (Prisma-tetra).

Como bien es sabido, el mallado consta de uno o varios procesos iterativos que relacionan el presente punto y el siguiente “Resolución”, haciendo uso de la resolución hidrodinámica planteada, y retroceder hacia este mismo.

Obtención de Malla pre-inicial

En la malla pre-inicial se tendrá un tamaño suficiente en los elementos que conforman la zona del núcleo fluido. Para ello, se generan las siguientes mallas solamente en disposición Delauny (sin capas prismáticas):

Tabla 1.1. Tamaño de los elementos de las mallas pre-iniciales.

	Escala global	Elemento núcleo	Elemento pared
Malla p-i I	0.4	0.2	0.1
Malla p-i II	0.4	0.15	0.075

A continuación se introducen ambas mallas en el “Solver” para una resolución adiabática, y con el tratamiento de pared “Scalable Wall-Function”. Este es un tratamiento en la zona cercana a la pared que emplea Wall-Function o Tratamiento detallado en función del valor que presente el y^+ .

Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 1.2. Valores de monitorización convergidos entre mallas.

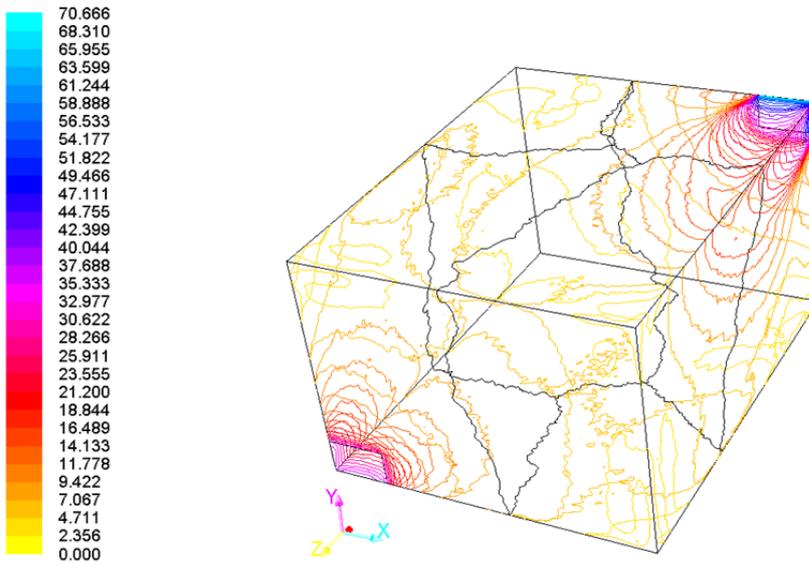
	Malla p-i I	Malla p-i II
$ \bar{v}_{PLANO\ MEDIO} (m/s)$	0.015	0.015
$\dot{m}_{SECCIÓN\ DE\ SALIDA}(kg/s)$	0.17	0.18

Por tanto, se concluye que la malla pre-inicial I, arroja valores que no dependen de la malla.

Obtención del modelado de capa limite.

- Iteración 1:

Se genera sobre la malla pre-inicial 1, un conjunto de 5 capas prismáticas con una separación arbitraria del muro de 0.05m. Una vez introducido en el Solver, los resultados obtenidos en cuando al y^+ medio en cada pared es:



Se puede apreciar como en la salida, y sobre todo en la zona cercana a la entrada, el crecimiento de la variable y^+ resulta bastante elevado.

Figura 1.2. Isovalores de y^+ para cada superficie en la iteración 1.

En la figura de la derecha, se muestra la variación de y^+ , pero regulando el valor máximo a 10. De esta manera se puede apreciar con forma de “huecos” las zonas con gradientes de y^+ demasiado elevados. Por otra parte, se puede estudiar con mayor exactitud los valores de y^+ en cada superficie.

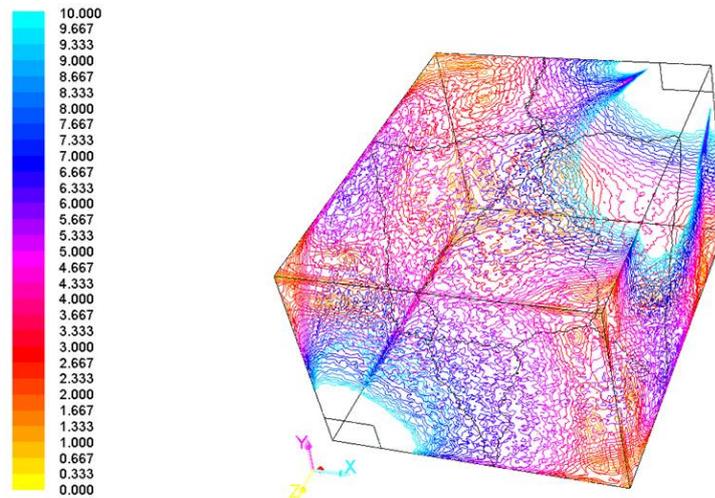


Figura 1.3. Isovalores de y^+ para cada superficie en iteración 1

Debido a los grandes gradientes en la variación de y^+ , ha sido necesaria la nueva discretización de dos de las superficies consideradas (en verde):

Tabla 1.3. Valores de la primera iteración.

1 iter.	Δy	y^+	Δy modificado
W1	0.05	1 a 5	0.03
W2	0.05	4 a 5	0.02
W3	0.05	5 a 6	0.02
W4	0.05	5	0.02
W5	0.05	4 a 5	0.02
W6	0.05	1 a 5	0.03
In_W4	0.05	10 a 40	0.008
In_W5	0.05	10 a 40	0.008

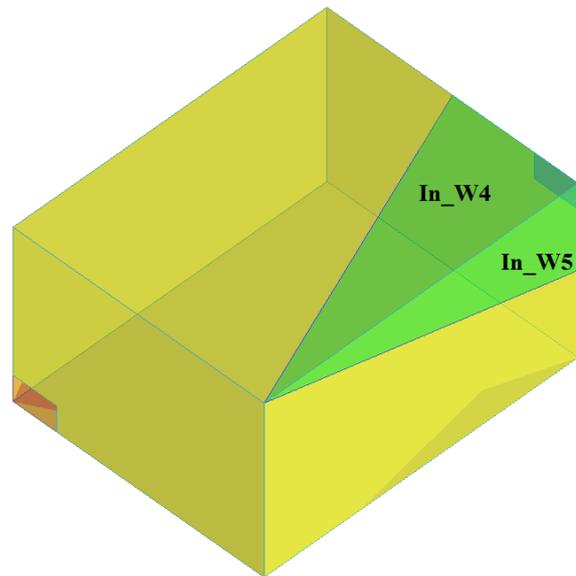


Figura 1.4. Discretización iteración 1

- Iteración 4

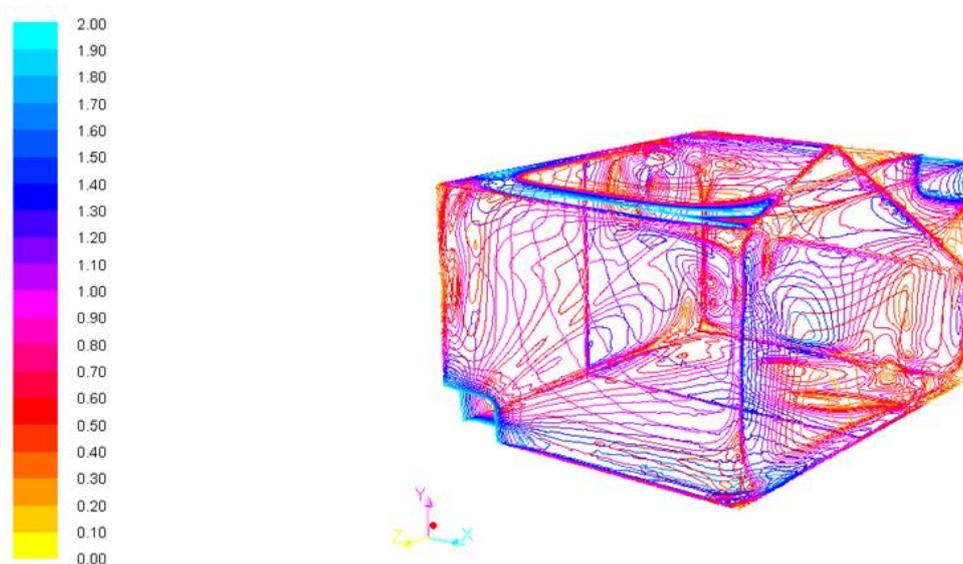


Figura 1.5. Isovalores de y^+ para cada superficie en la iteración 4.

Tabla 1.4. Valores de la cuarta iteración y alcance de la convergencia aproximada

4 iter.	Δy	y^+	Δy modificado
W1	0.009	1	conv.
W2	0.005	1	conv.

Se observa, que como valor medio de cada superficie, se obtiene aproximadamente la convergencia entorno al valor $y^+=1$.

W3	0.003	1	conv.
W4	0.006	1	conv.
W5	0.004	1	conv.
W6	0.004	1	conv.
In_W4	0.002	1	conv.
In_W5	0.002	1	conv.
In_W1	0.002	1	conv.
W2_pri	0.007	1	conv.
W6_pri	0.007	1	conv.

Por tanto, de esta manera se cierra el proceso iterativo referente al ajuste del valor del primer nodo más cercano a la superficie.

Obtención del número de capas prismáticas.

Una vez establecido el tamaño de las capas prismáticas que se deben introducir, se debe estudiar el número de las mismas que es necesario. En este caso, es obligada la resolución térmica del problema para poder evaluar de esta manera la independencia entre solución y malla en relación al número de capas prismáticas introducidas.

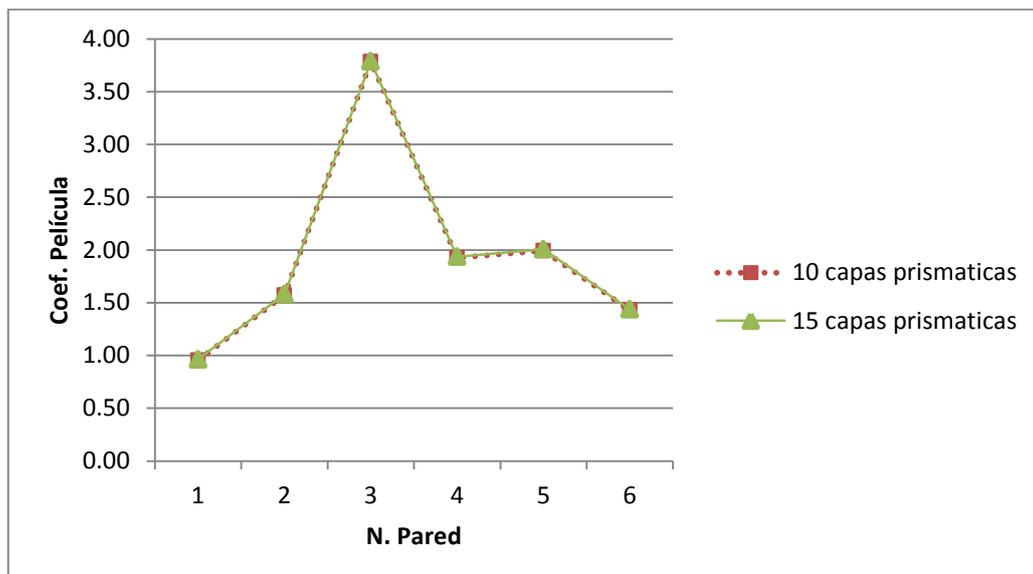


Figura 1.6. Comparación de los coeficientes de película bajo el modelo k-ε Realiz., llevados a cabo bajo mallas de 10 y 15 capas prismáticas.

Se observa que las soluciones arrojadas bajo ambas mallas presentan un error relativo inferior al 1%, en todos los puntos. Consecuentemente se comprueba la convergencia de la malla, en cuanto a número de capas prismáticas se refiere, para el valor de 10 capas.

Comprobación de tamaño de elemento en núcleo fluido.

Una vez determinado el número suficiente de nodos contenidos en capa límite es necesario pasar al último punto en el que se comprobará la convergencia de la malla desde un punto de vista global.

Tabla 1.5. Tamaño de los elementos de las mallas pre-iniciales.

	Escala global	Elemento núcleo	Elemento pared	Numero de nodos
Malla I	0.4	0.2	0.1	900.000
Malla II	0.4	0.1	0.05	3.000.000

(comprob)

Bajo la segunda malla se realiza el ajuste para observar si existen discrepancias entre los valores monitorizados, o si por el contrario se ha alcanzado la convergencia.

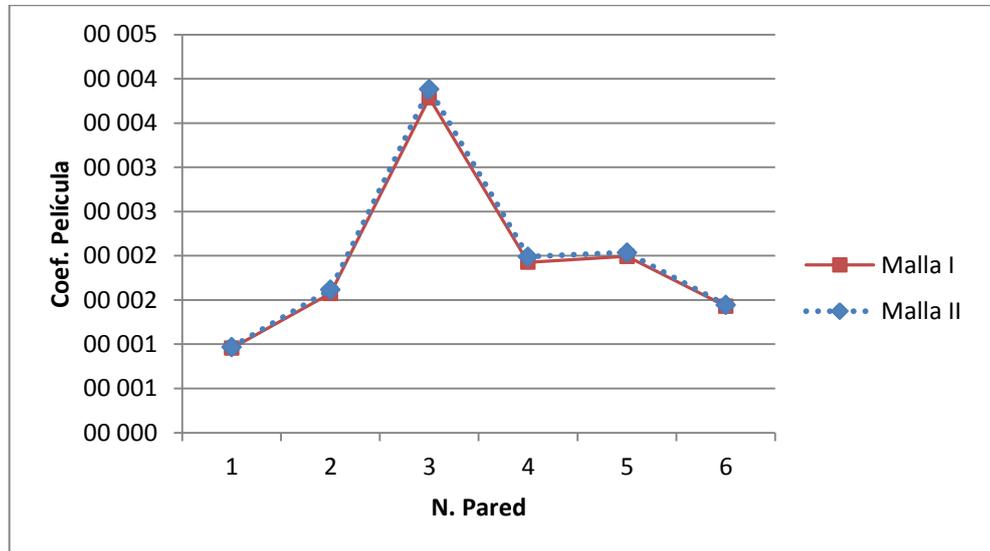


Figura 1.7. Comparación de los valores de coeficiente de película presentados en k-ε Realizable, bajo las mallas de 900.000 nodos y 3.000.000 nodos respectivamente.

Así, el error relativo presentado entre ambas soluciones se encuentra acotado entre el 0.5 y 3%. Al ser el rango de acción tan pequeño, se dará la solución por convergida para la malla I. No obstante, se debe tener en cuenta un intervalo de error por incertidumbre en la solución de al menos un 3%. Sin embargo, como el error inicial supuesto ya parte de un 5%, este no será tomado en cuenta ya que se encuentra por debajo del inicial.

De esta manera, se cierra el Método de mado principal basado en la combinación de tetraedros en disposición Delauny con capas prismáticas en las zonas cercanas al muro.

No obstante, en apartados posteriores se llevarán a cabo los métodos de mado alternativos para contrastar la validez del Método prisma-tetra.

Se muestra a continuación una sección vertical de la malla final, que separa entrada de salida. (Ver siguiente figura). Se puede observar cómo se realiza la transición entre prismas y tetraedros de una manera relativamente suavizada, siendo la última capa prismática del orden de tamaño de los tetraedros contiguos.

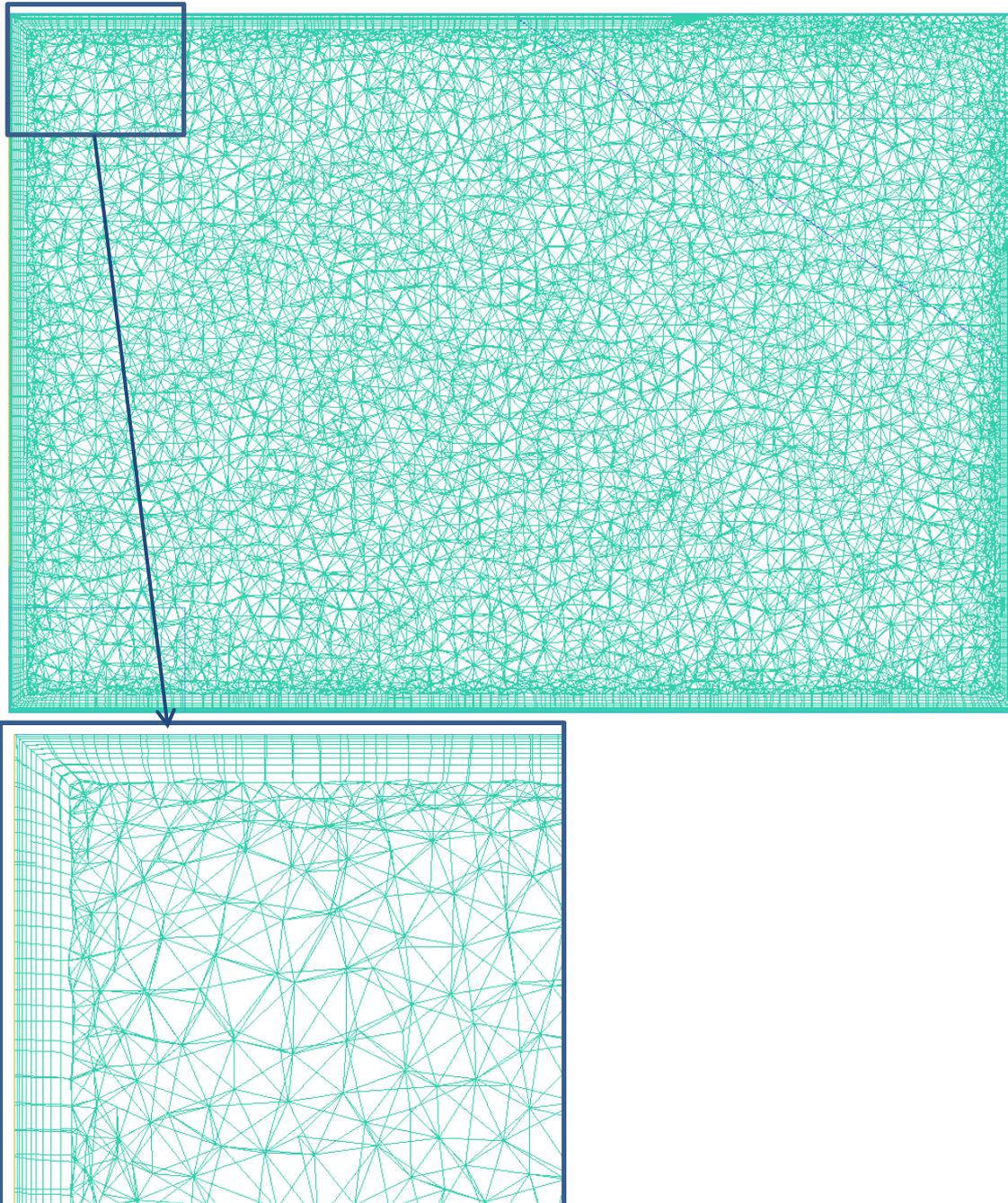


Figura 1.8. Sección central de la malla final convergida.

Resolución.

Como ya se ha mencionado, en el proceso iterativo llevado a cabo en el paso anterior ya se ha hecho uso del paso “Resolución”. No obstante este proceso es necesario realizarlo solo para uno de los modelos turbulentos.

No obstante, es necesario llevar a cabo este punto “Resolución” tres veces por separado, una para cada uno de los modelos a utilizar: $k-\epsilon$ RNG, $k-\epsilon$ Realizable, $k-\omega$ SST (De comprobación).

Es necesario decir que normalmente se divide la simulación/resolución del problema en dos pasos consecutivos: Resolución hidrodinámica y Resolución térmica. El propósito es conseguir la convergencia en el campo de velocidades y presiones, y posteriormente converger los parámetros

relacionados con la transferencia de calor. De esta manera se consigue un proceso menos caótico y un cierto ahorro en el gasto computacional.

- **Resolución hidrodinámica.**

En primer lugar, es necesario implementar en el “Solver” los parámetros operacionales definidos en el punto 1.

Además, para el caso hidrodinámico es necesario establecer la convergencia, por una parte, en el valor “ 10^{-6} ” para los residuales de las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento, y por otra parte con la estabilización los valores de variables como “Valor medio de la velocidad”, “Cantidad de masa que abandona el recinto”.

Es por ello que en el presente caso se monitorizará, “El valor medio de la velocidad en un plano que secciona verticalmente al recinto”, “La masa de aire que se introduce en el recinto” y “La masa de aire que evacua el recinto”.

- **Resolución térmica.**

Respecto a la resolución anterior, es necesario activar la utilización de la “Ecuación de la Energía”. Con ello se podrán introducir los valores de temperatura fijados en las condiciones de contorno y a su vez una nueva remesa de puntos monitorizados.

Esta vez se monitoriza “Valor medio de la temperatura en el plano intermedio”, “Valor de temperatura a la salida del aire del recinto”, y “Transferencia de calor en cada una de las paredes”.

Extracción de datos y contrastación.

Una vez obtenida la malla convergida, se ha resuelto el problema para todos y cada uno de los modelos turbulentos planteados, bajo las bases del punto anterior “Resolución”. Se obtienen así los siguientes valores.

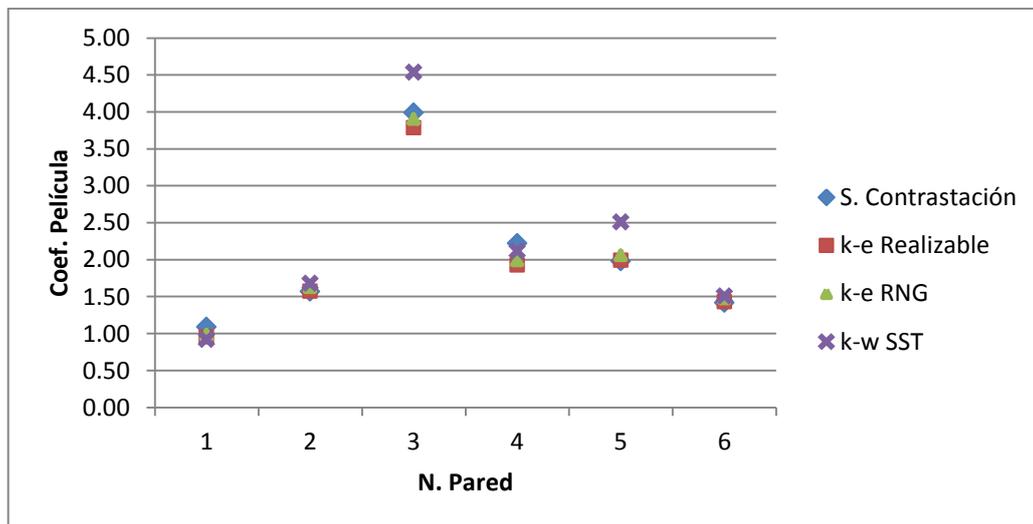


Figura 1.9. Comparación de los resultados obtenidos en la resolución del caso por la aplicación del Protocolo desarrollado bajo los modelos: k-ε Realizable, k-ε RNG, k-ω SST.

Análisis de resultados para el protocolo de cálculo CFD para coeficientes de transferencia de calor por convección.

Entrando en una comparación cuantitativa, se analiza primero la solución arrojada por el protocolo de cálculo CFD para coeficientes de transferencia de calor pro convección.

Tabla 1.6. Resultados de los experimentos realizados (Coeficientes de película y errores relativos respecto al experimento bajo el modelo k-ε Realizable).

		W1	W3	W4	W5	W6
k-ε Realiz.	h(W/m ² K)	0.95	3.78	1.93	1.99	1.43
	Δε _{RELAT.} (%)	-2.72	-3.13	-3.15	-3.25	-3.10
k-ε RNG	h(W/m ² K)	0.98	3.90	1.99	2.06	1.47
	Δε _{RELAT.} (%)	-2.72	-3.13	-3.15	-3.25	-3.10
k-ω SST	h(W/m ² K)	0.92	4.54	2.12	2.51	1.51
	Δε _{RELAT.} (%)	3.44	-19.86	-9.84	-26.08	-5.57

Las soluciones de los modelos k-ε Realizable y k-ε RNG resultan prácticamente idénticas (Δε<3%), mientras que la solución presentada por el modelo k-ω SST presenta errores más acusados respecto a estos. Bajo dicha disposición, resulta clara la validación de la solución para los modelos k-ε's. De entre estas, se seleccionará como fija la del modelo k-ε Realizable.

Así, ya que el error cometido por la solución k-ω SST resulta bastante razonable excepto en los puntos W3 y W5, resulta lógico la asignación de un margen de error igual al inicial (5%).

Conclusión

Por todo lo establecido previamente, la opción más lógica que se plantea es la validación de la solución alcanzada bajo el **modelo k-ε Realizable**, y aumentando a su vez el margen de error aplicado a la solución para así cubrir el abanico presentado en los experimentos. De esta manera se estimarán los siguientes errores:

- 5%: Para las paredes W2, W3, W5 y W6.
- 10%: Para las paredes W1 y W4.

Condiciones operacionales

Una vez definidos los parámetros geométricos, hay que especificar los parámetros operacionales que determinan el fluido en cuestión (Aire), y que interacción tiene con el medio.

En primer lugar, se impone una velocidad de impulsión del aire por la rejilla de entrada de 0.5 m/s, lo cual resulta un valor típico en este tipo de aplicaciones. Además, se adoptan unas condiciones turbulentas medias en este flujo de entrada por lo que se fijan los parámetros:

Parámetros turbulentos en la impulsión.

Parámetros turbulentos	
Intensidad de turbulencia (%)	5
Escala de longitud de turbulencia (m)	0.1

Por último, queda determinar la temperatura fijada del chorro de entrada, y la temperatura en las paredes del recinto:

Parámetros térmicos.

Temperatura	
Aire entrada	293.15 K
Paredes	303 K