

Proyecto Fin de Carrera

Estudio de los datos obtenidos mediante simulación numérica del flujo en una placa orificio, comparados con los correspondientes a la aplicación de la norma
ISO-UNE 5167

Study of the data obtained by numerical simulation of the flow in an orifice plate, compared with those corresponding to the application of ISO-UNE 5167

Autor/es

Ana Paola Villanueva Javierre

Director/es

Antonio Pascau Benito

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza

2016

Estudio de los datos obtenidos mediante simulación numérica del flujo en una placa orificio, comparados con los correspondientes a la aplicación de la norma ISO UNE 5167

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el estudio de la norma ISO-UNE:5167 2003 (Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular). Las normas UNE son un conjunto de normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización. Son sumamente importantes porque recogen una gran cantidad de resultados obtenidos por la vía experimental creando unas condiciones de aplicación donde se pueden utilizar estos resultados sin necesidad de comprobar o replicar los experimentos necesarios para obtener los datos de dicha norma.

En este trabajo se va a estudiar en detalle el apartado 2 de la norma, que trata sobre placas de orificio. Se van a diseñar una serie de casos que cumplan las condiciones de dicha norma para comparar los resultados experimentales del coeficiente de descarga con los obtenidos mediante simulación numérica.

Para llevar a cabo lo comentado en el párrafo anterior, se dispondrá del software desarrollado por el profesorado del Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza denominado CRETINO.

Dicho software puede ser utilizado para el cálculo de problemas bidimensionales, con flujos incompresibles, laminares y/o turbulentos, estacionarios y/o transitorios, utilizando coordenadas cartesianas y/o cilíndricas.

Con los datos obtenidos de dichas simulaciones se procederá a calcular los coeficientes de descarga y se compararán con los mostrados en la norma ISO 5167:2. Se estudiarán los errores y cómo varían estos según los distintos parámetros de los casos.

Índice

1	Introducción	7
1.1	Alcance del proyecto	8
1.2	Objetivos	8
1.3	Software utilizados	8
2	Estudio de la norma UNE-ISO 5167, descripción de los componentes de estudio	10
2.1	Descripción de los componentes de estudio	10
2.2	Descripción de la geometría del caso 1	11
2.3	Condiciones de contorno	14
3	Ecuaciones de transporte	17
3.1	Ecuaciones de conservación	17
3.1	Ecuaciones de transporte de las variables turbulentas	17
4	Sistema computacional	18
4.1	Hipótesis	18
4.2	Criterios de convergencia	18
5	Resultados del caso 1	19
6	Nuevos casos y sus resultados	24
6.1	Caso 2 y 3: placa de orificio a 7D y 5 D respecto a la entrada	24
6.2	Caso 4: aumento del número de bloqueos a 4	27
6.3	Caso 5: $\beta=0.6$	28
6.4	Caso 6: $D=200\text{mm}$	29
6.5	Caso 7: $D=200\text{mm}$ con 4 bloqueos	30
6.5	Caso 7: $D=200\text{mm}$ con $\beta=0.6$ bloqueos	31
7	Conclusiones	32
8	Bibliografía	34
	Anexo I: Longitudes rectas requeridas entre placas de orificio y accesorios sin acondicionadores de flujo (tabla 3 norma UNE: 5167:2)	36
	Anexo II: Tablas de coeficiente de descarga extraídas de la norma ISO 5167:2 (tablas A.1 a A.11)	37
	Anexo III: Perfiles de velocidad y variables turbulentas para los diversos casos	48
	Entradas para $D=100$ y $Re_D=30000$	48
	Entradas para $D=100$ y $Re_D=50000$	49
	Entradas para $D=100$ y $Re_D=70000$	50
	Entradas para $D=100$ y $Re_D=100000$	51

Entradas para $D=100$ y $Re_D=300000$	52
Entradas para $D=100$ y $Re_D=1000000$	53
Anexo IV: Descripción de la geometría y comprobaciones respecto a la norma:	54
Caso 2:	54
Caso 3:	57
Caso 4:	60
Caso 5:	63
Caso 6:	66
Caso 7:	69
Caso 8:	72
Anexo V: Tabla comparativa de los distintos casos	75
Anexo VI: Diagrama de Moody	76
Anexo VII: Nomenclatura utilizada.....	77

1 Introducción

Las normas UNE son un conjunto de normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización. Son sumamente importantes porque recogen una gran cantidad de resultados obtenidos por la vía experimental creando unas condiciones de aplicación donde se pueden utilizar estos resultados sin necesidad de comprobar o replicar los experimentos necesarios para obtener los datos de dicha norma.

La norma UNE-EN ISO 5167 consta de cuatro partes que comprenden la geometría y el método de empleo (condiciones de instalación y funcionamiento) para diferentes elementos de presión diferencial. En especial, este trabajo se centra en la segunda parte de esta norma que habla sobre las placas de orificio como elementos de presión diferencial para obtener los caudales midiendo las caídas de presión a D (aguas arriba de la placa orificio) y $D/2$ (aguas abajo de la placa orificio) mediante tomas de presión.

Hay dos enfoques para enfrentarse a un problema de fluidos por un lado, tenemos el enfoque experimental que utiliza prototipos para medir el comportamiento de los flujos fluidos y dar unas soluciones reales. Para este enfoque el uso de normas es habitualmente necesario.

Por otro lado, está el enfoque computacional o *Computational Fluid Dynamics* (CFD a partir de ahora), un enfoque que emplea ordenadores para resolver los problemas del flujo fluido utilizando el tratamiento numérico de las leyes que gobiernan los movimientos de los mismos

Las ecuaciones de transporte que se deben resolver en los fluidos para obtener datos, como velocidad o presiones en las diversas geometrías de estudio, suelen ser complicadas e incluso no tener una solución analítica. Para tratar estos casos se dispone de los dos enfoques descritos previamente.

Hasta hace poco la única forma de obtener valores fiables era el método experimental, puesto que el coste computacional de los casos fluidos era enorme, debido a la gran cantidad de volúmenes requeridos para describir una geometría detallada y el gran número de iteraciones necesarias para obtener las tolerancias buscadas para poder dar unos resultados válidos.

Sin embargo, en las últimas dos décadas, los ordenadores han sufrido una mejora cuantitativa y cualitativa de sus capacidades de forma que ya no se necesita un super ordenador para resolver un caso sencillo de fluidos. Los ordenadores “domésticos” pueden realizar simulaciones de forma bastante aceptable.

Este desarrollo en las herramientas informáticas ha ayudado a que sea posible corroborar los datos experimentales que se obtienen o vienen indicados en las normas mediante CFD.

1.1 Alcance del proyecto

En este proyecto se pretende comparar los valores experimentales del coeficiente de descarga (C a partir de ahora) dados en la norma UNE-ISO 5167:2 en las tablas A.1 a A.11 dada por dicha norma (las tablas están incluidas en el anexo II) con unos valores obtenidos mediante CFD.

1.2 Objetivos

Los objetivos del presente proyecto son:

Estudiar la norma y las condiciones en las que se aplica.

Definir casos de estudio según la norma.

Simular dichos casos mediante CFD.

Comparar los resultados y sacar conclusiones.

1.3 Software utilizados

El programa informático que se utiliza para realizar las simulaciones, se denominado CRETINO (siglas de “Código de Resolución de Ecuaciones de Transportes con Introducción Numérica de Opciones”). Este código facilitado por el Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza, se utiliza, en otras, en prácticas de la asignatura “Instrumentación y Simulación de Sistemas Fluidos”.

Dicho código, escrito en lenguaje FORTRAN, utiliza el método de volúmenes finitos a la hora de discretizar las ecuaciones que se pretenden resolver. Puede ser utilizado para el cálculo de problemas bidimensionales, con flujos incompresibles, laminares y/o turbulentos, estacionarios y/o transitorios, utilizando coordenadas cartesianas y/o cilíndricas.

La herramienta de post-procesado utilizado para analizar los resultados obtenidos ha sido TECPLOT (para visualizar y extraer datos) y el Excel de Microsoft como hoja de cálculo.

Antes de terminar este apartado veo conveniente dedicar unos párrafos para explicar la distribución de la memoria de este proyecto:

En el **apartado 2**, en cierta forma el núcleo de este proyecto, se estudian las condiciones de aplicación de la norma y se establece un modelo de tubería cilíndrica que se adapta a las exigencias de dicha norma.

En el **apartado 3** se muestran las ecuaciones físicas en las que se basa el modelo.

En el **apartado 4** se describen brevemente los parámetros que es necesario definir para hacer funcionar nuestro sistema computacional.

En el **apartado 5** se muestran y se comentan los resultados de la tubería diseñada en el apartado 2.

En el **apartado 6** se estudian otros casos y se comparan las soluciones obtenidas entre ellos y con las obtenidas en el apartado 5.

El **apartado 7** pertenece a las conclusiones, se recapitula toda la información obtenida y se estudia. También en ese apartado se ha dedicado un espacio a los posibles trabajos futuros derivados de este proyecto.

Para concluir esta memoria se incorpora está la bibliografía seguida de unos anexos en los que se pueden encontrar las siguientes informaciones: nomenclatura utilizada, tablas extraídas de la norma necesarias para los cálculos, perfiles de varias variables de entrada en diferentes condiciones, definición detallada de los casos del apartado 6 -puesto que en dicho apartado sólo se explican brevemente y se comentan los resultados- y por último, encontramos una tabla comparando las características de los distintos casos.

2 Estudio de la norma UNE-ISO 5167, descripción de los componentes de estudio

2.1 Descripción de los componentes de estudio

En este trabajo se trata una tubería cilíndrica recta y lisa de un diámetro D , con una placa de orificio normalizada tal y como define la norma UNE-ISO5167-2 [1]

En la figura 1 se muestra una placa de orificio normalizada, la norma impone unos valores que limitan la geometría de las placas orificio:

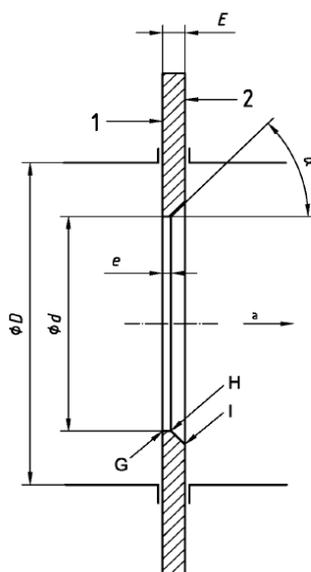


Figura 1: Placa de orificio normalizada (Fuente: [1] página 8)

El espesor e del orificio debe estar comprendido entre $0,005D$ y $0,02D$.

El espesor E de la placa debe estar comprendido entre e y $0,05D$.

Si el espesor E rebasa al espesor e , la placa debe ser biselada en el lado aguas abajo.

El ángulo de bisel debe ser de $45^\circ \pm 15^\circ$.

El diámetro d debe ser en todos los casos mayor que o igual a $12,5$ mm. La relación de diámetros $\beta = d/D$ (β a partir de ahora), debe ser siempre mayor que o igual a $0,10$ y menor que o igual que a $0,75$. Dentro de estos límites el usuario puede elegir el ratio que desee.

Para cada placa de orificio, debe instalarse al menos una toma de presión aguas arriba y una toma de presión aguas abajo, en una u otra de las posiciones normalizadas, es decir a D y $D/2$.

Las separaciones l_1 (D) y l_2 ($0,5D$) se miden desde la cara aguas arriba de la placa de orificio.

Límites de empleo de las placas orificio con tomas de presión D y $D/2$:

- $d \geq 12,5\text{mm}$
- $50\text{mm} \leq D \leq 1000\text{mm}$
- $0,1 \leq \beta \leq 0,75$
- $Re_D \geq 5000$, para $0,1 \leq \beta \leq 0,56$
- $Re_D \geq 16000\beta^2$, para $\beta > 0,56$

La longitud de la tubería antes y después de la placa orificio viene dada por la tabla 3 ,AnexoI, de la norma.

2.2 Descripción de la geometría del caso 1

Lo primero es elegir el diámetro de tubería. Se ha elegido de $D=100\text{mm}$ y un ratio $\beta=0,48$. Esto supondría la siguiente geometría asociada:

$$L_1=1,2\text{m}$$

$$L_2=0,6\text{m}$$

$$d=48\text{mm}$$

Para definir la longitud de la tubería tal y como se ha explicado en el apartado anterior es necesario consultar la tabla 3 de la norma (Anexo I) con las consiguientes conclusiones:

Como en el inicio de nuestro dominio no tenemos ninguna obstrucción, lo podemos tratar como una válvula de paso (o válvula de compuerta) completamente abierta.

Como no queremos añadir incertidumbres adicionales inicialmente utilizamos los valores A^e y no los B^f , lo que nos da:

- Una longitud de tubería $12D$ antes de la placa orificio
- Una longitud de tubería $6D$ después de la placa orificio

Como los flujos de la tubería son simétricos respecto al eje central solo representamos en el sistema computacional la mitad superior de la tubería y definimos el contorno inferior como eje de simetría horizontal.

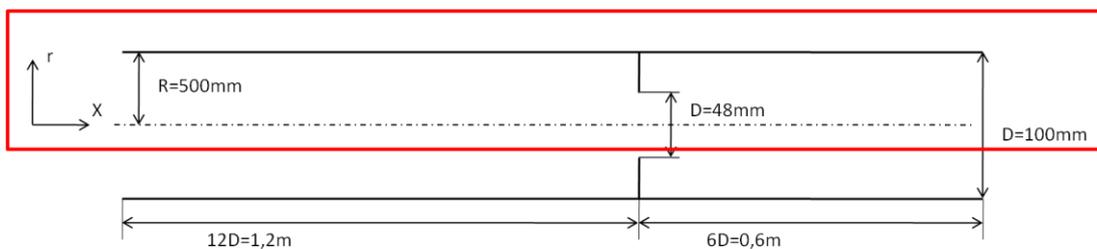


Figura 2: Tubería cilíndrica con $D=100\text{mm}$ y una placa de orificio de $\beta=0,48$ a $12D$ de la entrada

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	96.5	193	1	Uniforme
Zona 2	13,829	55	0,971	Contracción
Zona 3	40,4	404	1	Uniforme
Zona 4	20,35	80	1,0206	Expansión
Zona 5	10,339	20	1	Uniforme

Total	183,05	752
-------	--------	-----

Tabla 1: Mallado en X del caso 1

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	14,55	28	1	Uniforme
Zona 2	6,455	35	0,934	Contracción
Zona 3	6	60	1	Uniforme
Zona 4	7,04	25	1,0774	Expansión
Zona 5	15,96	27	1	Uniforme

Total	50	165
-------	----	-----

Tabla 2: Mallado en Y del caso 1

La aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional se puede observar en la figura 3.

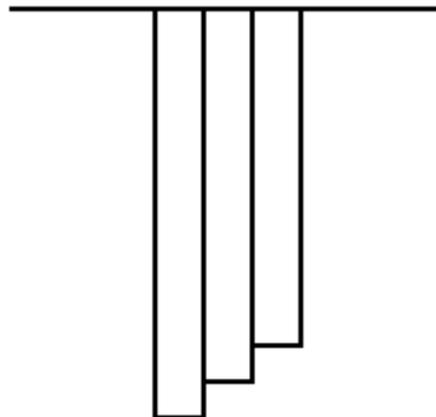


Figura 3: Discretización en tres bloques de la placa de orificio para computación

La placa de orificio se ha aproximado como 3 bloques rectangulares. Esto se ha hecho así porque en el software CRETINO los bloqueos se definen por posición del volumen inicial y posición del volumen final. Los volúmenes siempre son rectangulares, no se pueden definir volúmenes con otras formas, lo que imposibilita la modelización de geometrías curvas o inclinadas de otra forma que no sea mediante una aproximación usando rectángulos.

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 1mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 1 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 26mm desde la pared de la tubería

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	349	84	349	165
Bloqueo 2	350	94	350	165
Bloqueo 3	351	104	351	165

Tabla 3: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar tres bloqueos

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=1\text{mm}$

$E=3\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=0.5\text{mm}$ y $0,02D=2\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=5\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=48\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=100\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.48$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.48$ el Re_D debe ser mayor a 5000 , el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

El fluido de trabajo es agua líquida a 20°C , es un fluido incompresible por lo que no tiene sentido tener en cuenta el factor de expansión ϵ . Las propiedades físicas del agua a 20°C son:

$\rho=998,2\text{kg/m}^3$,

$\mu=1,102 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$

2.3 Condiciones de contorno

Ahora, ya solo nos faltan las condiciones de contorno del sistema computacional para obtener todos los datos necesarios para calcular la solución a nuestro problema. Necesitamos las condiciones de contorno en tres tipos de zonas:

- Entradas
- Simetrías
- Paredes

En el sistema computacional he definido 5 variables, a las cuales se les tienen que dar unos valores iniciales en las diferentes zonas definidas para ser capaces de hallar una solución:

- Velocidad U
- Velocidad V
- Presión P
- Energía cinemática turbulenta K
- Disipación de energía cinética turbulenta DIS

La discretización utilizada para el cálculo de las variables, elegida como opción en el fichero de entrada del código, es del tipo upwind.

El problema consta de una entrada vertical al principio del dominio y una salida vertical al final del dominio (en la salida no es necesario dar condiciones de contorno).

Las condiciones de contorno a la entrada se introducen como un perfil no uniforme para el caso de la velocidad u y las variables turbulentas y como una constante en el vaso de la velocidad v . A la presión no hay que darle un valor inicial.

La velocidad U de entrada depende del Reynolds, la forma del perfil de velocidad es el representado en la figura 4:

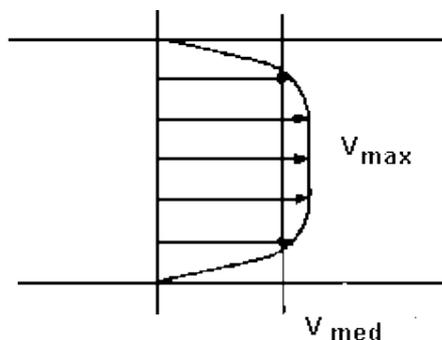


Figura 4: Representación del perfil de velocidades en flujo turbulento

Los valores de velocidad media y máxima para diferentes Re_D son:

	Re_D					
	30000	50000	70000	100000	300000	1000000
Velocidad media (m/s)	0,33119615	0,55199359	0,77279102	1,10398718	3,31196153	11,0398718
Velocidad máx. (m/s)	0,3963187	0,6540114	0,91016759	1,292591	3,8167142	12,5420310

Tabla 4 Velocidades media y máxima para un diámetro de 100 mm y diferentes Re

Calculo de la velocidad:

$$Re_D = \frac{\rho \cdot D \cdot V_m}{\mu}$$

D , μ y ρ son datos ya definidos previamente. Puesto que se quiere calcular la C asociada a diferentes Re_D , Re_D es un dato inicial conocido en nuestro problema. Es inmediato con estos datos calcular la V_m del fluido.

A la entrada se puede suponer que la velocidad del fluido es una constante a lo largo del dominio o que tiene una forma parecida a la hipérbola mostrada en la figura 4. Se ha decidido introducir el dato de velocidad como un perfil no uniforme.

En los flujos turbulentos la distribución de velocidades es más uniforme que en laminar debido a que la turbulencia se encarga de transportar cantidad de movimiento a lo largo del radio. A partir de los datos experimentales de Nikuradse y otros investigadores, se llega a la siguiente ecuación [2].

Para contornos rugosos o lisos:

$$\frac{v - V_m}{V_m \cdot \sqrt{f}} = 2 \cdot \log(y/r_0) + 1,32$$

Siendo r_0 el valor $R=50\text{cm}$

Siendo y la distancia desde la pared superior al punto donde se quiera calcular la velocidad.

Siendo f el factor de pérdida de carga asociado a la rugosidad de la tubería que se puede obtener del diagrama de Moody. En este caso tenemos que sacar el valor de f que corresponde a una tubería lisa. (Anexo VI).

La ecuación nos queda:

$$v = V_m (1 + 1,32 \cdot \sqrt{f} + 2 \cdot \sqrt{f} \cdot \log(y/r_0))$$

Los perfiles de velocidades para los distintos Re_D , así como los perfiles de las variables turbulentas se pueden observar en el anexo III.

Para la variable de velocidad V se le asigna un valor inicial.

$V = 0.0d + 0 \text{ m/s}$

Como ya hemos dicho en la descripción de la geometría, en nuestro problema hay un eje de simetría el cual nos permite estudiar en el sistema computacional solo la mitad del corte meridional. En el software CRETINO, cuando se define una pared como línea de simetría internamente asigna un valor de gradiente fijado y constante a la variable de velocidad por lo que no es necesario que se asignen valores a las variables.

Por último, quedan por definir las condiciones de contorno en las paredes. Las paredes son unas líneas imaginarias que se definen entre el fluido y los objetos definidos en la geometría, en donde se asignan unos valores a las condiciones de contorno en esa zona con el propósito de que el fluido no penetre en los bloques.

Asignamos un valor 0 a las condiciones de contorno de las componentes de velocidad y del resto de variables en las paredes de los bloques. (Excepto la presión que una vez más no es necesario definirla en las c.c.).

Nuestro dominio computacional dispone de 9 paredes: 4 verticales (azules) y 5 horizontales (rojas). Se pueden observar en la figura 5.

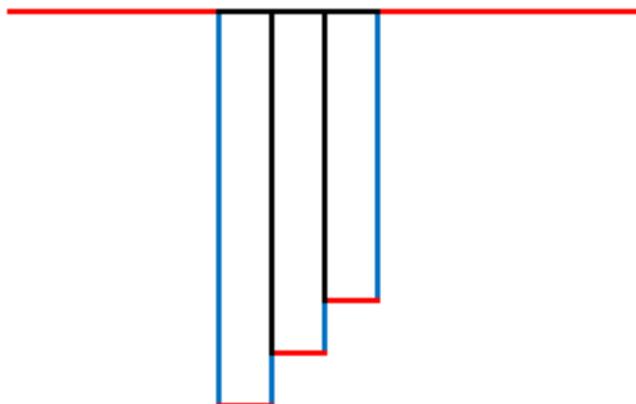


Figura5: Paredes verticales (azul) y paredes horizontales (rojas) de la discretización de la placa orificio

Definición de las paredes según volúmenes:

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Pared vertical 1	348	84	348	165
Pared vertical 2	350	84	350	93
Pared vertical 3	351	94	351	103
Pared vertical 4	352	104	352	165
Pared Horizontal 1	1	165	347	165
Pared Horizontal 2	349	83	349	83
Pared Horizontal 3	350	93	350	93
Pared Horizontal 4	351	103	351	103
Pared Horizontal 5	352	165	752	165

Tabla 5: Definición de las paredes verticales y horizontales para el caso 1

3 Ecuaciones de transporte

3.1 Ecuaciones de conservación

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD O CONSERVACIÓN DE LA MASA

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

ECUACIÓN DE CONSERVACIÓN DE MOMENTO (NAVIER-STOKES)

$$\begin{aligned} \cancel{\frac{\partial u_i}{\partial t}} + u_j \cdot \frac{\partial u_i}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u_i u_j}) + g_i \\ -\overline{u_i u_j} &= \frac{1}{\rho} \cdot \mu_t \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \cdot k \cdot \delta_{ij} \end{aligned}$$

3.1 Ecuaciones de transporte de las variables turbulentas

ECUACIONES DE TRANSPORTE PARA K Y ε SEGÚN EL MODELO ESTANDAR TURBULENTO K-ε[3]

$$\begin{aligned} \cancel{\frac{\partial k}{\partial t}} + u_j \cdot \frac{\partial u_i}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \cdot \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{G_k}{\rho} - \varepsilon \\ \cancel{\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}} + u_j \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} &= \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{\rho} \cdot C_{\varepsilon_1} \cdot G_k - C_{\varepsilon_2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Donde μ_t es la viscosidad turbulenta que se define como:

$$\mu_t = \frac{\rho \cdot C_\mu \cdot k^2}{\varepsilon}$$

Donde:

$$C_\mu = 0,09$$

$$C_{\varepsilon_1} = 1,4$$

$$C_{\varepsilon_2} = 1,9$$

$$\sigma_k = 1,0$$

$$\sigma_\varepsilon = 1,3$$

4 Sistema computacional

4.1 Hipótesis

Estado estacionario

El dominio computacional es bidimensional (2D)

El agua dentro de la tubería puede ser considerada como flujo turbulento e incompresible.

La densidad del agua es considerada constante.

No se consideran variaciones de temperatura

La dirección del flujo es perpendicular al objeto de estudio.

Existe simetría de tipo cilíndrica en el problema

4.2 Criterios de convergencia

Uno de los parámetros que debemos decidir antes de comenzar con el uso del programa son los criterios de convergencia. En este caso al programa se le introducen dos: tolerancia de los residuos y número máximo de iteraciones.

Para la tolerancia se ha escogido el valor $0,1 \times 10^{-5}$, este número se compara con los datos de los residuos que se obtienen en cada iteración. Considerando que esto implica que los cálculos van a finalizar cuando la diferencia entre una iteración y la siguiente esté en la cuarta o quinta decimales, parece suficiente.

Para elegir el número adecuado de iteraciones se ha tenido en cuenta la variación del error al cambiar el número de iteraciones y el tiempo que tarda el programa en ejecutarse.

Se ha observado que a medida que aumenta el Re_D se necesita aumentar el número de iteraciones para minimizar los errores.

5 Resultados del caso 1

De cada simulación se obtienen varios ficheros, en concreto hay dos que nos interesan para nuestro trabajo. Uno, en el que se representan los valores residuales en cada iteración, y otro, el archivo donde se obtienen los valores de las variables en el dominio computacional y que se puede visualizar mediante TECPLOT.

Se puede representar cualquiera de las variables. Por ejemplo, en la figura 6 está representada la presión. Se puede observar que la presión va cayendo gradualmente a lo largo de la tubería tal y como es de esperar por los efectos viscosos. El punto más interesante de observar es donde se encuentra la placa de orificio a 1,2 m, se puede ver un detalle de esta zona en la figura 7.

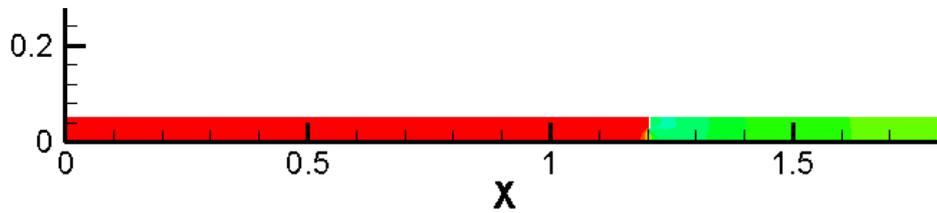


Figura 6: Representación de la presión para $Re=100000$

En la figura 7 se puede apreciar la placa orificio como la zona vacía del dominio computacional. Además de observarse una gran caída de presión en ella (pasa de representarse de rojo a verde), tal y como se esperaba por ser un dispositivo de medición de caudal mediante caída de presión. Se observan dos efectos también esperados. En la zona 1 una sobrepresión debido a la energía liberada por el choque del fluido en esa zona. En la zona 2 un gran descenso de la presión debido a las recirculaciones del flujo.

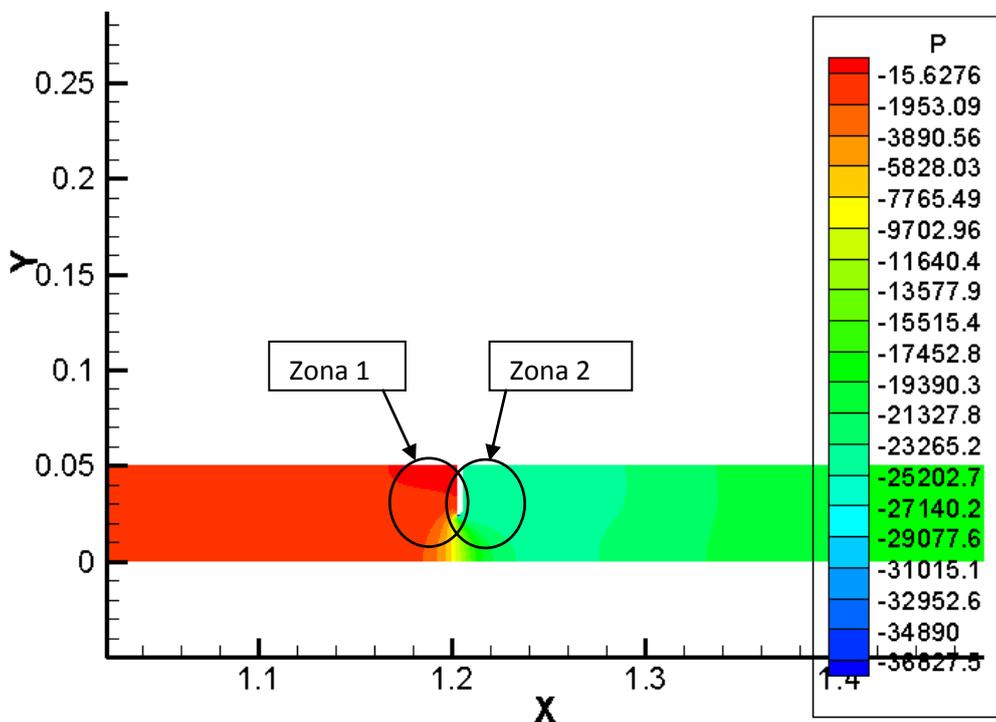


Figura 7: Detalle de la variación de presión en la zona cercana a la placa orificio

Por supuesto, también se pueden representar cualquier otra variable como los residuos o las variables del modelo viscoso como la energía cinética turbulenta y la disipación viscosa.

Una que resulta interesante es la velocidad U , que se puede observar en la figura 8, incluidas también las líneas de flujo. Se pueden observar las recirculaciones que hay antes y después del obstáculo, especialmente después. En este gráfico se puede medir la distancia necesaria para que se recuperen las velocidades después de la vena contracta.

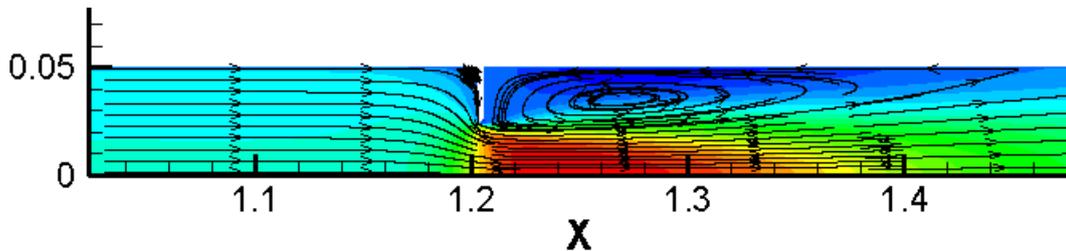


Figura 8: Representación de las líneas de flujo en el caso 1 y a $Re=100000$

Comparando la figura 8 con la figura 9 que ha sido sacada de la norma UNE-ISO5167:2, se puede observar que las líneas de flujo son muy parecidas.

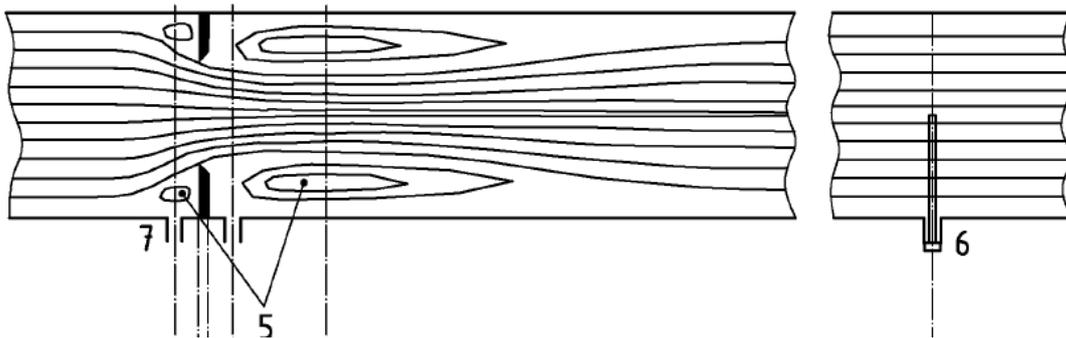


Figura 9: Perfil aproximado de flujo en un sistema de medida de orificio (fuente: [1] página 20)

Con todo esto ya estamos listos para enfrentarnos al principal objetivo de estudio que nos habíamos planteado, obtener los valores de los coeficientes de descarga C

C es un coeficiente que, definido para un caudal de fluido incompresible, relaciona el caudal real con el caudal teórico del dispositivo, y es dado por la fórmula para fluidos incompresibles.

$$C = \frac{q_m \cdot \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho}}$$

La definición de la velocidad media es:

$$V_m = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$$

Y la relación entre ambos caudales es:

$$Q = \frac{q_m}{\rho}$$

Por lo que sustituyendo la q_m en la ecuación, nos queda el coeficiente definido de la siguiente forma:

$$C = \frac{V_m \cdot \rho \cdot D^2 \cdot \sqrt{1 - \beta^4}}{d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho}}$$

Recordemos que la relación de diámetros se representa mediante el parámetro β , por lo que:

$$C = \frac{V_m \cdot \sqrt{1 - \beta^4}}{\beta^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho}}$$

La velocidad media se había hallado en el apartado 2.3, β es un parámetro definido con la geometría y ρ es una constante que depende del fluido y la temperatura, por lo que para obtener los valores de C simplemente tenemos que conseguir los valores de presión.

Para ello con la herramienta TECPLOT se obtienen los valores de las presiones en 2 puntos, la norma define diferentes distancias de medida dependiendo del tipo de sensor que se utilice (recordemos que la norma es para métodos experimentales). En este caso tomando la definición de la norma lo adecuado es coger unas longitudes l_1 y l_2 igual a D y D/2 respectivamente.

Siendo l_1 la distancia desde la cara aguas arriba de la placa orificio hasta la toma de presión aguas arriba de la placa orificio. Y l_2 la distancia desde la cara aguas arriba de la placa orificio hasta la toma de presión aguas debajo de la placa orificio.

Las coordenadas de los puntos de medición son:

l_1 : X=1.1032m Y=0.05m

l_2 : X=1.2532m Y=0.05m

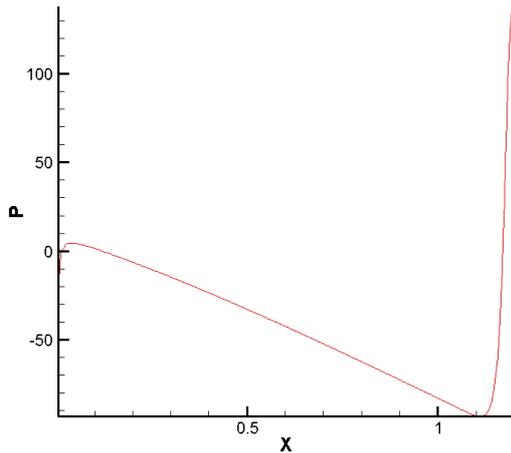
En la tabla 6 se pueden ver los valores de C obtenidos computacionalmente comparados con los valores de C obtenidos de la norma (anexo II).

		C calculado	C teórico	Error (%)
Caso 1	30000 Re	0,669	0,609	9,85
	50000 Re	0,669	0,607	10,23
	70000 Re	0,671	0,606	10,71
	100000 Re	0,671	0,605	10,86
	300000 Re	0,673	0,604	11,43
	1000000 Re	0,674	0,602	11,93

Tabla 6: Comparación de los valores del coeficiente de descarga entre el calculado y el teórico de la norma UNE ISO 5167:2

Se puede observar unos errores en torno al 10% lo cual es razonable en un sistema computacional.

Además de los valores del coeficiente de descarga se puede extraer mucha más información de los datos obtenidos. En las figuras 10 y 11 se puede observar la variación de la presión antes y después de la placa orificio.



En la figura 10 se puede observar como la caída de presión es constante a lo largo de la tubería, es lo esperado pues esa caída viene representada por las pérdidas lineales de la tubería. Al principio del dominio se pueden observar irregularidades hasta que se estabiliza el flujo. Al final el aumento de la presión es debido a la proximidad con la placa orificio.

Figura 10: Variación de la presión antes de la placa orificio en el caso 1 para $Re_D=100000$

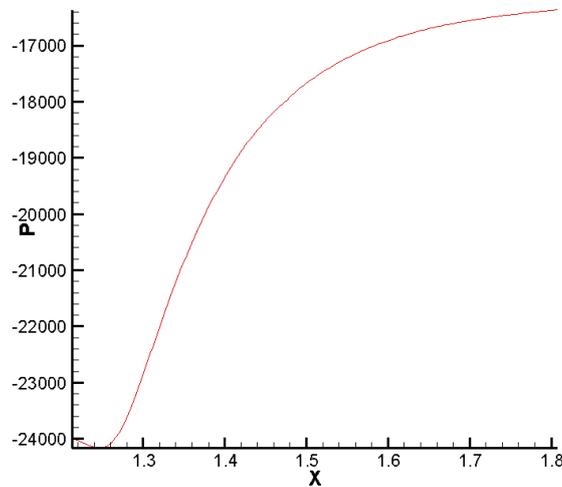


Figura 11: Variación de la presión después de la placa orificio en el caso 1 para $Re_D=100000$

En la figura 11 se puede apreciar la variación de la presión después de la placa orificio. En teoría con el dominio definido se debería llegar a una zona en que el flujo se desarrollase completamente de nuevo y ya no tuviesen efecto las variaciones de presión debido a la placa orificio (tal y como se puede apreciar en la Figura 12).

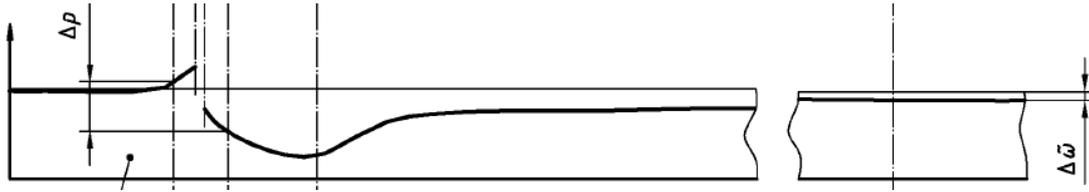


Figura 12: Perfil aproximado de presión en un sistema de orificio (fuente: [1] fig. 5)

Debido a la gran zona lineal pre orificio y a que la zona post orificio parece insuficiente se decide comprobar los resultados desplazando la placa 5D y 7D hacia el origen en los casos 2 y 3 respectivamente.

6 Nuevos casos y sus resultados

En el anexo IV se puede encontrar una descripción detallada de todos los casos (a excepción del 1 que ya está descrito en detalle en el apartado 2), así como las comprobaciones de que cumplen las condiciones establecidas por la norma.

En el anexo V se puede encontrar una tabla de las principales características de los casos estudiados.

6.1 Caso 2 y 3: placa de orificio a 7D y 5D respecto a la entrada

Para estos dos casos lo que se ha decidido es mover la placa de orificio en el dominio para ver si variaban los resultados respecto al caso 1 tal y como se ha planteado al final del apartado anterior.

En la figura 13 se pueden comparar las posiciones de la placa orificio de los casos 1 (12 D respecto la entrada), caso 2 (7 D respecto la entrada) y caso 3 (5D respecto a la entrada).

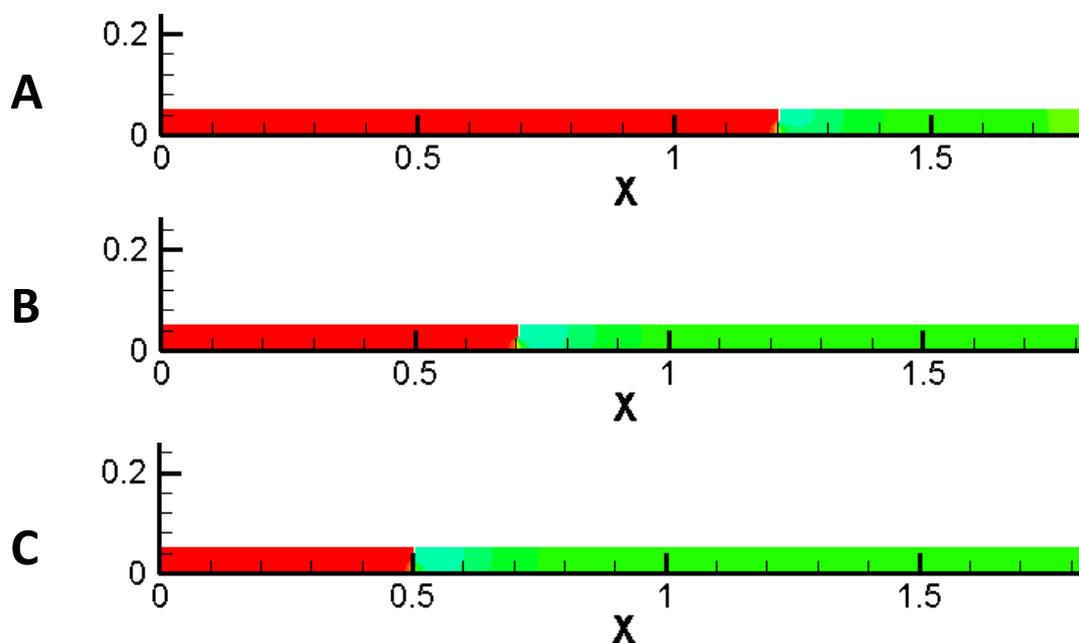


Figura 13: Representación de la presión en el dominio a $70000 Re_D$ para el caso 1 (A), caso 2 (B) y caso 3 (C)

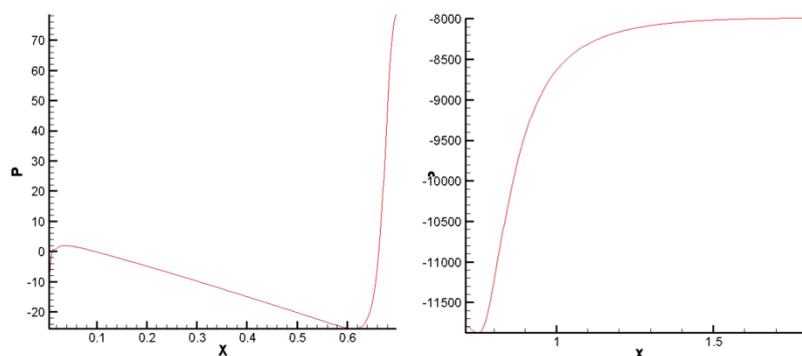


Figura 14: Variación de la presión antes de la placa orificio (izquierda) y después de la placa orificio (derecha) para el caso 2 para $70000 Re_D$

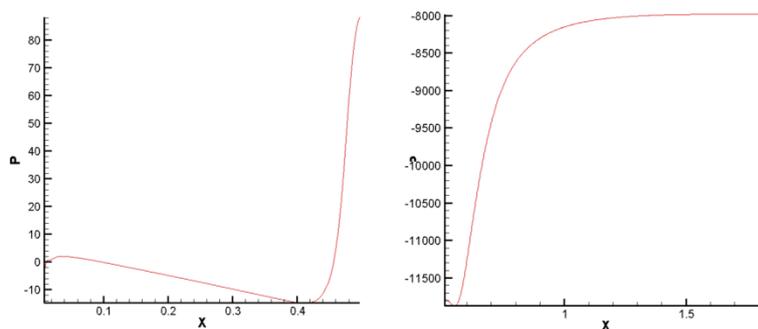


Figura 15: Variación de la presión antes de la placa orificio (izquierda) y después de la placa orificio (derecha) para el caso 3 para 70000 Re_D

En las figuras 14 y 15 se puede observar las variaciones de la presión antes y después de las placas orificio. Se observa que la zona lineal pre placa de orificio pasa a ser de unos 5D para el caso 2 y de unos 3D o 3,5D para el caso 3. Después de la placa orificio se puede observar que ambos alcanzan la linealidad que esperábamos comparando con la figura 12.

Si se calculan los coeficientes de descarga para estos nuevos casos y se comparan con el caso anterior obtenemos la tabla 7.

		C calculado	C teorico	Error (%)
Caso 1	30000 Re	0,669	0,609	9,85
	50000 Re	0,669	0,607	10,23
	70000 Re	0,671	0,606	10,71
	100000 Re	0,671	0,605	10,86
	300000 Re	0,673	0,604	11,43
	1000000 Re	0,674	0,602	11,93
Caso 2	30000 Re	0,668	0,609	9,69
	50000 Re	0,670	0,607	10,44
	70000 Re	0,669	0,606	10,45
	100000 Re	0,670	0,605	10,66
	300000 Re	0,671	0,604	11,13
	1000000 Re	0,672	0,602	11,58
Caso 3	30000 Re	0,668	0,609	9,70
	50000 Re	0,670	0,607	10,44
	70000 Re	0,670	0,606	10,49
	100000 Re	0,670	0,605	10,68
	300000 Re	0,671	0,604	11,14
	1000000 Re	0,672	0,602	11,60

Tabla 7: Comparación de los errores de los casos 1 2 y 3

Se puede observar que el mejor caso es el 2, esto se debe a que el flujo en la parte posterior ya está completamente desarrollado de nuevo, en el caso 1 al no ocurrir es probable que eso nos cause el aumento de error respecto al caso 1.

Por otra parte, el caso 3 también tiene un aumento del error con respecto al caso 2 (aunque mejora con respecto al caso 1), en este caso se debe a no haber dejado suficientes diámetros al inicio, la norma explica que esto añade un 0,5% a la incertidumbre del coeficiente de descarga ([1] página 21)

En la figura se puede observar una comparativa de las velocidades después de la placa orificio para los 3 casos con un Re_D de 100000.

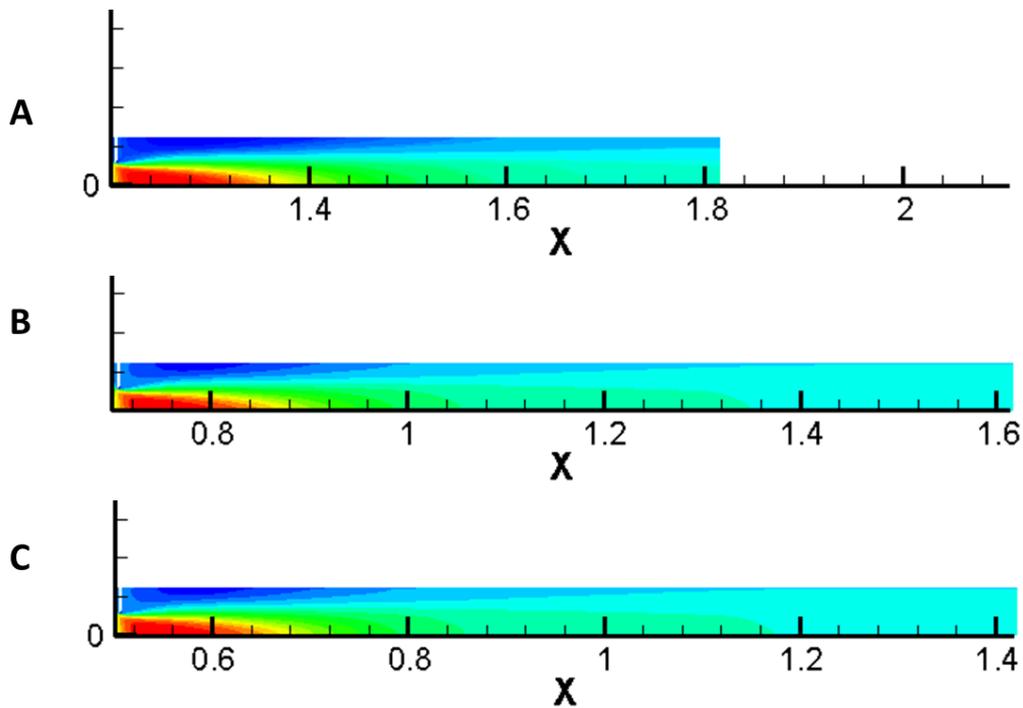


Figura 16: Velocidad U después de la placa orificio para $D=100\text{mm}$, con $\beta=0.48$, $Re_D=100000$ y con la placa orificio a 12D del origen -caso1- (A), a 7D del origen -caso 2- (B) y a 5D del origen -caso 3- (C)

Se puede observar que en los 3 casos las velocidades siguen casi el mismo perfil, tal y como es de esperarse al ser la geometría de la placa orificio y el Re_D el mismo. Se puede apreciar con detalle que en el caso 1 las velocidades no han terminado de desarrollarse al final del dominio definido.

Como se ve una mejoría en los errores con el caso 2 respecto a las otras geometrías, el resto de casos que se desarrollan desde este punto se realizan con una distancia de 7D desde el origen hasta la placa orificio.

6.2 Caso 4: aumento del número de bloqueos a 4

Como se ha explicado en el apartado 2.2 la aproximación que se ha utilizado para la placa de orificio es un conjunto de rectángulos. Puesto que no deja de ser una aproximación algo burda de la geometría se ha decidido aumentar el número de bloqueos a 4 (figura 17) con la intención de disminuir los errores.

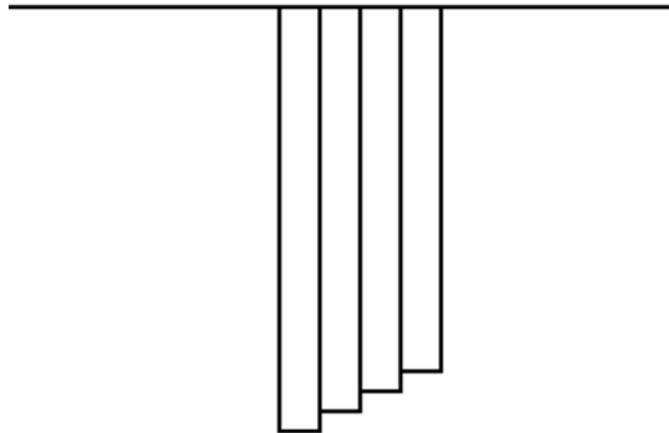


Figura17: Discretización en 4 bloques de la placa de orificio para computación

Si calculamos los coeficientes de descarga en este caso:

		C calculado	C teórico	Error (%)
Caso 1	30000 Re	0,669	0,609	9,85
	50000 Re	0,669	0,607	10,23
	100000 Re	0,671	0,605	10,86
	300000 Re	0,673	0,604	11,43
	1000000 Re	0,674	0,602	11,93
Caso 4	30000 Re	0,640	0,609	5,06
	50000 Re	0,638	0,607	5,03
	100000 Re	0,638	0,605	5,48
	300000 Re	0,639	0,604	5,94
	1000000 Re	0,640	0,602	6,34

Tabla 8: Comparación de los coeficientes de descarga aumentando de 3 bloqueos (caso 1) a 4 bloqueos (caso 4)

Tal y como se podía prever la solución a mejorado sustancialmente, reduciendo los errores en torno a un 5%.

6.3 Caso 5: $\beta=0.6$

Puesto que las tablas de datos en los que la norma da valores del coeficiente de descarga hay varias relaciones de diámetro (anexo II) se va a comprobar los resultados variando la relación de diámetros de 0,48 a 0,6. Esto supone una modificación de la geometría que se puede encontrar en detalle en el anexo IV.

Los coeficientes de descarga calculados para este nuevo caso son:

		C calculado	C teórico	Error (%)
Caso 5	30000 Re	0,671	0,617	8,75
	50000 Re	0,670	0,614	9,24
	70000 Re	0,670	0,612	9,47
	100000 Re	0,669	0,611	9,55
	300000 Re	0,670	0,608	10,15
	1000000 Re	0,670	0,606	10,55

Tabla 9: Coeficientes de descarga para el caso 5, $\beta=0.6$

Si se comparan los resultados se puede observar que los errores son menores que en el caso de la $\beta=0.48$, probablemente debido al aumento de superficie de paso con respecto a la superficie total.

6.4 Caso 6: $D=200\text{mm}$

Para validar la efectividad del programa para resolver los casos se ha probado también en una tubería de un diámetro de 200mm en vez de los 100mm, que es el dato con el que hemos trabajado hasta ahora.

La geometría es análoga pero el doble de grande, los perfiles de las variables de entrada se pueden comprobar en el anexo III.

Los coeficientes de descarga para esta nueva geometría son:

		C calculado	C teórico	Error (%)
Caso 6	30000 Re	0,6422	0,6091	5,44
	50000 Re	0,6438	0,6072	6,02
	70000 Re	0,6444	0,6062	6,30
	100000 Re	0,6447	0,6054	6,50
	300000 Re	0,6475	0,6037	7,26
	1000000 Re	0,6488	0,6026	7,67

Tabla 10: Coeficientes de descarga para el caso 6 ($D=200\text{mm}$)

Los errores son notablemente menores que en el caso del diámetro 100mm, esto es debido a que para el mismo Re_D con un mayor diámetro la velocidad del flujo es menor, haciendo que los efectos del modelo de turbulencia que nos genera errores sean menores.

6.5 Caso 7: D=200mm con 4 bloqueos

Puesto que en el caso de diámetro 100mm se ha visto que un aumento de bloqueos disminuía el error al calcular el coeficiente de descarga, se quiere validar dicho resultado también para el caso en el que el diámetro es 200mm. Aumentando de 3 a 4 bloqueos con el diámetro de 200mm.

Esto supone una modificación de la geometría que queda reflejada en el anexo IV.

Los valores de los coeficientes de descarga obtenidos con estos parámetros:

		C calculado	C teórico	Error (%)
Caso 7	30000 Re	0,6369	0,6091	4,56
	50000 Re	0,6394	0,6072	5,30
	70000 Re	0,6400	0,6062	5,58
	100000 Re	0,6310	0,6054	4,24
	300000 Re	0,6429	0,6037	6,49
	1000000 Re	0,6354	0,6026	5,45

Tabla 11: Coeficientes de descarga par D=200mm con 4 bloqueos

Se observa una mejoría respecto al caso de 3 bloqueos, pero no es tan significativa como en el caso del diámetro 100mm. Probablemente a que los errores en el caso 6 eran menores que en el caso 2 y por tanto había menos errores que corregir.

6.5 Caso 7: $D=200\text{mm}$ con $\beta=0.6$ bloqueos

Para un diámetro 100mm se ha comprobado que el aumento de la relación de diámetros de 0.48 a 0.6 ha disminuido los errores, queremos verificar este mismo resultado con el nuevo diámetro de 200mm.

Los coeficientes de descarga en este caso son:

		C calculado	C teorico	Error (%)
Caso 5	30000 Re	0,640	0,616	3,80
	50000 Re	0,640	0,613	4,45
	70000 Re	0,641	0,612	4,78
	100000 Re	0,640	0,610	4,85
	300000 Re	0,642	0,607	5,72
	1000000 Re	0,644	0,605	6,33

Tabla 12: coeficientes de descarga para $D=200\text{m}$ y $\beta=0.6$

En los resultados se puede comprobar lo que ya se esperaba, una disminución de los errores al aumentar el ratio de los diámetros que se debe a que una mayor área de paso disminuye los efectos del modelo de turbulencia que genera errores.

7 Conclusiones

En este proyecto se ha verificado que el software CRETINO resulta adecuado para el estudio de tuberías cilíndricas en el caso bidimensional.

Hay un porcentaje de error alrededor del 10% asociado a las siguientes aproximaciones que difieren con la realidad:

- Se ha resuelto como un sistema 2D
- El modelo turbulento utilizado para los cálculos es el k- ϵ que es ampliamente utilizado en industria, sin embargo, no deja de ser un modelo con unos errores asociados.
- La geometría de la placa orificio se ha tenido que aproximar por bloques rectangulares impidiendo que su canto fuese liso en ángulo.

Se pueden observar en todos los casos calculados que al aumentar el número de Reynolds también lo hacen los errores, esto se debe a que para minimizarlos es necesario aumentar el número de iteraciones a medida que aumenta el Reynolds. Debido a la limitación de cálculo de las máquinas utilizadas no he podido aumentar las iteraciones suficientemente para eliminar estos errores.

Se comprueba que al aumentar la beta de 0,48 a 0,6 los errores asociados a los coeficientes de carga disminuyen. Una mayor área de paso minimiza los efectos del modelo de turbulencia que generan errores. Esto se comprueba tanto para un diámetro de 100mm como para el caso del diámetro de 200mm.

Al aumentar el diámetro de la tubería también se observa una disminución de los errores. Las velocidades son menores para el mismo Re y se generan menos errores debido al modelo de turbulencia.

La discretización de la geometría de la placa orificio afecta susceptiblemente a los errores que se obtienen comparando el coeficiente de descarga hallado por CFD y los valores de la norma. Por lo tanto, hay que tener cuidado al definir esta geometría. Por supuesto el aumento de número de bloques al definirlo aumenta el número de operaciones por iteración y por tanto se requiere más tiempo o una mejor máquina para el mismo caso.

Esta última afirmación se puede comprobar tanto comparando los casos 2 y 4, que tienen un diámetro de 100mm, como al comparar los casos 6 y 7, con un diámetro de 200mm. En ambos casos se presenta una disminución de los errores al aumentar el número de bloques, sin embargo, esta disminución es más notable en el caso del diámetro 100mm debido a que los errores eran mayores en el caso 2 que en el caso 6.

En definitiva, para resolver un caso en CFD es necesario hallar un equilibrio entre el error que se puede aceptar y el consumo en horas máquina. Cuanto más potente sean los equipos computacionales de los que se disponga, con mayor precisión se podrán calcular los resultados. Siempre teniendo en cuenta la necesidad de realizar un estudio de la geometría que resulta más correcta en cada caso, puesto que hay que adaptar el mallado al problema, así como la definición de los objetos en el dominio a estudiar como las placas de orificio en mí caso.

Como continuación a este trabajo que es completamente computacional se podría realizar otro desde el punto de vista experimental y comparar los resultados de ambos.

También se podría estudiar los mismos casos en un software CFD que permitiese la simulación en de modelos 3D y se comparasen los resultados hallados con los obtenidos en este trabajo en la simulación 2D mediante CRETINO.

Otro posible trabajo posterior podría ser la optimización del mallado realizando varias pruebas, así como la optimización de la geometría de los obstáculos como la placa orificio en este trabajo.

8 Bibliografía

- [1] ISO 5167-2:2003 – *Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular. Parte 2: placas de orificio*
- [2] GILES, R.V. *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Mexico: McGraw-Hill septiembre 1985, pp 96-100)
- [3] Versteeg H.K., Malalasekera W. *An introduction to Computational Fluid Dynamics* England: Pearson Education Limited.

Anexos

Anexo I: Longitudes rectas requeridas entre placas de orificio y accesorios sin acondicionadores de flujo (tabla 3 norma UNE: 5167:2)

Tabla 3
Longitudes rectas requeridas entre placas de orificio y accesorios sin acondicionadores del flujo

Valores expresados como múltiplos del diámetro interno, *D*

Relación diámetro β	Lado aguas arriba (entrada) de la placa de orificio														Lado aguas abajo (salida) de la placa de orificio											
	Un codo de 90° en el mismo plano: Configuración-S ($30D \geq S > 10D$) ^a ($S > 30D$) ^b		Dos codos de 90° en el mismo plano: Configuración-S ($10D \geq S$) ^c		Dos codos de 90° en planos perpendiculares ($30D \geq S \geq 5D$) ^d		Dos codos de 90° en planos perpendiculares ($5D > S$) ^{e,f}		Una T de 90° con o sin extensión Codo de 90° cónico		Un codo de 45° Dos codos de 45° en el mismo plano: Configuración-S ($S \geq 2D$) ^g		Reductor concéntrico 2D a D sobre una longitud de 1,5D a 3D		Expansor concéntrico 0,5D a D sobre una longitud de D a 2D		Válvula de bola de paso pleno o válvula de compuerta completamente abierta		Reducción brusca simétrica		Pocillo o vaina ^h del termómetro de diámetro $\leq 0,03D$		Accesorios (columnas 2 a 11) y el pocillo del densímetro			
	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f	A ^e	B ^f		
1																										
≤ 0,20	6	3	10	*	19	18	34	17	3	*	7	*	5	*	6	*	12	6	30	15	5	3	4	2		
0,40	16	3	10	*	44	18	50	25	9	3	30	9	5	*	12	8	12	6	30	15	5	3	6	3		
0,50	22	9	18	10	44	18	75	34	19	9	30	18	8	5	20	9	12	6	30	15	5	3	6	3		
0,60	42	13	30	18	44	18	65 ^b	25	29	18	30	18	9	5	26	11	14	7	30	15	5	3	7	3,5		
0,67	44	20	44	18	44	20	60	18	36	18	44	18	12	6	28	14	18	9	30	15	5	3	7	3,5		
0,75	44	20	44	18	44	20	75	18	44	18	44	18	13	8	36	18	24	12	30	15	5	3	8	4		

NOTA 1 – Las longitudes rectas mínimas requeridas son las longitudes entre diversos accesorios situados aguas arriba o aguas abajo de la placa de orificio y la propia placa de orificio. Las longitudes rectas se deben medir desde el final aguas abajo de la parte curvada del codo más próximo o de la T o el final aguas abajo de la parte curvada o cónica del reductor o expansor.

NOTA 2 – La mayoría de los codos sobre los que se basan las longitudes de esta tabla, tienen un radio de curvatura igual a 1,5D.

a S es la separación entre los dos codos medidos desde el final aguas abajo de la parte curvada del codo aguas arriba y el final aguas arriba de la parte curvada del codo aguas abajo.

b Esta no es una buena instalación aguas arriba. Cuando sea posible se debería utilizar un acondicionador del flujo.

c La instalación de los pocillos o vainas del termómetro no modificarán las longitudes rectas mínimas aguas arriba requeridas para los otros accesorios.

d Puede instalarse un pocillo o vaina para el termómetro de diámetro entre 0,03D y 0,13D, siempre que los valores en las columnas a y B se aumenten a 20 y 10 respectivamente. Sin embargo, dicha instalación no es recomendada.

e La columna A, para cada accesorio, proporciona las longitudes correspondientes a valores de "incertidumbre adicional cero" (véase el apartado 6.2.3).

f La columna B, para cada accesorio, proporciona las longitudes correspondientes a valores de "incertidumbre adicional 0,5%" (véase el apartado 6.2.4).

g La longitud recta en la columna A da incertidumbre adicional cero. No se dispone de datos para longitudes rectas más cortas que pueden utilizarse para dar las longitudes rectas requeridas para la columna B.

h Se requiere 95D para $Re_D > 2 \times 10^6$ si $S < 2D$.

Anexo II: Tablas de coeficiente de descarga extraídas de la norma ISO 5167:2 (tablas A.1 a A.11)

Tabla A.1
Placa de orificio con tomas en ángulo. Coeficiente de descarga, C , para $D \geq 71,12$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 6	0,599 0	0,598 0	0,597 6	0,597 2	0,597 0	0,596 9	0,596 6	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,12	0,601 4	0,599 5	0,598 3	0,597 9	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,596 8	0,596 6	0,596 5	0,596 5	0,596 5
0,14	0,602 1	0,600 0	0,598 7	0,598 2	0,597 7	0,597 5	0,597 3	0,596 9	0,596 8	0,596 6	0,596 6	0,596 6
0,16	0,602 8	0,600 5	0,599 1	0,598 5	0,598 0	0,597 8	0,597 6	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 8	0,596 8
0,18	0,603 6	0,601 1	0,599 5	0,598 9	0,598 3	0,598 1	0,597 8	0,597 4	0,597 1	0,597 0	0,597 0	0,596 9
0,20	0,604 5	0,601 7	0,600 0	0,599 3	0,598 7	0,598 4	0,598 1	0,597 6	0,597 4	0,597 2	0,597 2	0,597 1
0,22	0,605 3	0,602 3	0,600 5	0,599 8	0,599 1	0,598 7	0,598 5	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,597 4	0,597 4
0,24	0,606 2	0,603 0	0,601 0	0,600 2	0,599 5	0,599 1	0,598 8	0,598 2	0,597 9	0,597 7	0,597 6	0,597 6
0,26	0,607 2	0,603 8	0,601 6	0,600 7	0,599 9	0,599 6	0,599 2	0,598 6	0,598 2	0,598 0	0,597 9	0,597 9
0,28	0,608 3	0,604 6	0,602 2	0,601 3	0,600 4	0,600 0	0,599 7	0,599 0	0,598 6	0,598 3	0,598 2	0,598 1
0,30	0,609 5	0,605 4	0,602 9	0,601 9	0,601 0	0,600 5	0,600 1	0,599 4	0,598 9	0,598 6	0,598 5	0,598 4
0,32	0,610 7	0,606 3	0,603 6	0,602 6	0,601 6	0,601 1	0,600 6	0,599 8	0,599 3	0,599 0	0,598 8	0,598 7
0,34	0,612 0	0,607 3	0,604 4	0,603 3	0,602 2	0,601 7	0,601 2	0,600 3	0,599 8	0,599 3	0,599 2	0,599 1
0,36	0,613 5	0,608 4	0,605 3	0,604 0	0,602 9	0,602 3	0,601 8	0,600 8	0,600 2	0,599 7	0,599 6	0,599 4
0,38	0,615 1	0,609 6	0,606 2	0,604 9	0,603 6	0,603 0	0,602 4	0,601 3	0,600 7	0,600 1	0,599 9	0,599 8
0,40	0,616 8	0,610 9	0,607 2	0,605 8	0,604 4	0,603 7	0,603 1	0,601 9	0,601 2	0,600 6	0,600 3	0,600 1
0,42	0,618 7	0,612 2	0,608 3	0,606 7	0,605 2	0,604 4	0,603 8	0,602 5	0,601 7	0,601 0	0,600 7	0,600 5
0,44	0,620 7	0,613 7	0,609 4	0,607 7	0,606 1	0,605 2	0,604 5	0,603 1	0,602 2	0,601 4	0,601 1	0,600 8
0,46	0,622 8	0,615 2	0,610 6	0,608 7	0,607 0	0,606 1	0,605 3	0,603 7	0,602 7	0,601 9	0,601 5	0,601 2
0,48	0,625 1	0,616 9	0,611 8	0,609 8	0,607 9	0,606 9	0,606 1	0,604 3	0,603 3	0,602 3	0,601 9	0,601 5
0,50	0,627 6	0,618 6	0,613 1	0,610 9	0,608 8	0,607 8	0,606 9	0,605 0	0,603 8	0,602 7	0,602 2	0,601 8
0,51	0,628 9	0,619 5	0,613 8	0,611 5	0,609 3	0,608 2	0,607 3	0,605 3	0,604 0	0,602 9	0,602 4	0,601 9
0,52	0,630 2	0,620 4	0,614 4	0,612 1	0,609 8	0,608 7	0,607 7	0,605 6	0,604 3	0,603 0	0,602 5	0,602 0
0,53	0,631 6	0,621 3	0,615 1	0,612 6	0,610 3	0,609 1	0,608 0	0,605 9	0,604 5	0,603 2	0,602 6	0,602 1
0,54	0,633 0	0,622 3	0,615 8	0,613 2	0,610 8	0,609 5	0,608 4	0,606 1	0,604 7	0,603 3	0,602 7	0,602 1
0,55	0,634 4	0,623 2	0,616 5	0,613 8	0,611 2	0,609 9	0,608 8	0,606 4	0,604 9	0,603 4	0,602 8	0,602 2
0,56	–	0,624 2	0,617 2	0,614 3	0,611 7	0,610 3	0,609 1	0,606 6	0,605 0	0,603 5	0,602 8	0,602 2
0,57	–	0,625 2	0,617 9	0,614 9	0,612 1	0,610 7	0,609 5	0,606 9	0,605 2	0,603 6	0,602 8	0,602 2
0,58	–	0,626 2	0,618 5	0,615 5	0,612 6	0,611 1	0,609 8	0,607 0	0,605 3	0,603 6	0,602 8	0,602 1
0,59	–	0,627 2	0,619 2	0,616 0	0,613 0	0,611 4	0,610 1	0,607 2	0,605 4	0,603 6	0,602 8	0,602 0
0,60	–	0,628 2	0,619 8	0,616 5	0,613 4	0,611 7	0,610 3	0,607 3	0,605 4	0,603 5	0,602 7	0,601 9
0,61	–	0,629 2	0,620 5	0,617 0	0,613 7	0,612 0	0,610 6	0,607 4	0,605 4	0,603 4	0,602 5	0,601 7
0,62	–	0,630 2	0,621 1	0,617 5	0,614 0	0,612 3	0,610 8	0,607 5	0,605 4	0,603 3	0,602 3	0,601 4
0,63	–	0,631 2	0,621 7	0,617 9	0,614 3	0,612 5	0,610 9	0,607 5	0,605 2	0,603 0	0,602 1	0,601 1
0,64	–	0,632 1	0,622 2	0,618 3	0,614 5	0,612 6	0,611 0	0,607 4	0,605 1	0,602 8	0,601 7	0,600 7
0,65	–	0,633 1	0,622 7	0,618 6	0,614 7	0,612 7	0,611 0	0,607 3	0,604 8	0,602 4	0,601 3	0,600 2
0,66	–	0,634 0	0,623 2	0,618 9	0,614 8	0,612 8	0,611 0	0,607 1	0,604 5	0,602 0	0,600 8	0,599 7
0,67	–	0,634 8	0,623 6	0,619 1	0,614 9	0,612 7	0,610 8	0,606 8	0,604 1	0,601 4	0,600 2	0,599 0
0,68	–	0,635 7	0,623 9	0,619 3	0,614 9	0,612 6	0,610 6	0,606 4	0,603 6	0,600 8	0,599 5	0,598 3
0,69	–	0,636 4	0,624 2	0,619 3	0,614 7	0,612 4	0,610 4	0,605 9	0,603 0	0,600 1	0,598 7	0,597 4
0,70	–	0,637 2	0,624 4	0,619 3	0,614 5	0,612 1	0,610 0	0,605 3	0,602 3	0,599 2	0,597 8	0,596 4
0,71	–	0,637 8	0,624 5	0,619 2	0,614 2	0,611 7	0,609 4	0,604 6	0,601 4	0,598 2	0,596 7	0,595 3
0,72	–	0,638 3	0,624 4	0,618 9	0,613 8	0,611 1	0,608 8	0,603 8	0,600 5	0,597 1	0,595 5	0,594 0
0,73	–	0,638 8	0,624 3	0,618 6	0,613 2	0,610 4	0,608 0	0,602 8	0,599 3	0,595 8	0,594 2	0,592 6
0,74	–	0,639 1	0,624 0	0,618 1	0,612 5	0,609 6	0,607 1	0,601 6	0,598 0	0,594 3	0,592 6	0,591 0
0,75	–	0,639 4	0,623 6	0,617 4	0,611 6	0,608 6	0,606 0	0,600 3	0,596 5	0,592 7	0,590 9	0,589 2

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.2
Placa de orificio con tomas a D y $D/2$. Coeficiente de descarga, C , para $D \geq 71,12$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 3	0,598 7	0,597 7	0,597 3	0,596 9	0,596 7	0,596 6	0,596 3	0,596 2	0,596 1	0,596 1	0,596 0
0,12	0,601 0	0,599 1	0,597 9	0,597 5	0,597 1	0,596 9	0,596 7	0,596 4	0,596 2	0,596 1	0,596 1	0,596 1
0,14	0,601 6	0,599 5	0,598 2	0,597 7	0,597 2	0,597 0	0,596 8	0,596 5	0,596 3	0,596 2	0,596 1	0,596 1
0,16	0,602 3	0,600 0	0,598 5	0,598 0	0,597 4	0,597 2	0,597 0	0,596 6	0,596 4	0,596 2	0,596 2	0,596 2
0,18	0,602 9	0,600 4	0,598 9	0,598 2	0,597 7	0,597 4	0,597 1	0,596 7	0,596 5	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,20	0,603 7	0,600 9	0,599 2	0,598 5	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,596 9	0,596 6	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,22	0,604 4	0,601 5	0,599 6	0,598 9	0,598 2	0,597 9	0,597 6	0,597 1	0,596 8	0,596 6	0,596 5	0,596 5
0,24	0,605 3	0,602 1	0,600 1	0,599 3	0,598 5	0,598 2	0,597 9	0,597 3	0,597 0	0,596 7	0,596 7	0,596 6
0,26	0,606 2	0,602 7	0,600 6	0,599 7	0,598 9	0,598 5	0,598 2	0,597 5	0,597 2	0,596 9	0,596 9	0,596 8
0,28	0,607 2	0,603 4	0,601 1	0,600 2	0,599 3	0,598 9	0,598 5	0,597 8	0,597 5	0,597 2	0,597 1	0,597 0
0,30	0,608 2	0,604 2	0,601 7	0,600 7	0,599 8	0,599 3	0,598 9	0,598 2	0,597 8	0,597 4	0,597 3	0,597 3
0,32	0,609 4	0,605 1	0,602 4	0,601 3	0,600 3	0,599 8	0,599 4	0,598 6	0,598 1	0,597 7	0,597 6	0,597 5
0,34	0,610 7	0,606 0	0,603 1	0,602 0	0,600 9	0,600 4	0,599 9	0,599 0	0,598 5	0,598 1	0,597 9	0,597 8
0,36	0,612 1	0,607 1	0,604 0	0,602 7	0,601 6	0,601 0	0,600 5	0,599 5	0,598 9	0,598 4	0,598 3	0,598 1
0,38	0,613 7	0,608 2	0,604 9	0,603 5	0,602 3	0,601 6	0,601 1	0,600 0	0,599 4	0,598 8	0,598 6	0,598 5
0,40	0,615 3	0,609 5	0,605 9	0,604 4	0,603 1	0,602 4	0,601 8	0,600 6	0,599 9	0,599 3	0,599 1	0,598 9
0,42	0,617 2	0,610 9	0,607 0	0,605 4	0,603 9	0,603 2	0,602 5	0,601 2	0,600 5	0,599 8	0,599 5	0,599 3
0,44	0,619 2	0,612 4	0,608 2	0,606 5	0,604 9	0,604 1	0,603 4	0,601 9	0,601 1	0,600 3	0,600 0	0,599 7
0,46	0,621 4	0,614 0	0,609 4	0,607 6	0,605 9	0,605 0	0,604 2	0,602 7	0,601 7	0,600 8	0,600 5	0,600 2
0,48	0,623 8	0,615 7	0,610 8	0,608 8	0,607 0	0,606 0	0,605 2	0,603 5	0,602 4	0,601 4	0,601 0	0,600 6
0,50	0,626 4	0,617 6	0,612 3	0,610 1	0,608 1	0,607 1	0,606 2	0,604 3	0,603 1	0,602 0	0,601 6	0,601 1
0,51	0,627 8	0,618 6	0,613 1	0,610 8	0,608 7	0,607 6	0,606 7	0,604 7	0,603 5	0,602 3	0,601 9	0,601 4
0,52	0,629 2	0,619 7	0,613 9	0,611 5	0,609 3	0,608 2	0,607 2	0,605 2	0,603 9	0,602 7	0,602 1	0,601 6
0,53	0,630 7	0,620 7	0,614 7	0,612 3	0,610 0	0,608 8	0,607 8	0,605 6	0,604 3	0,603 0	0,602 4	0,601 9
0,54	0,632 2	0,621 8	0,615 5	0,613 0	0,610 6	0,609 4	0,608 3	0,606 1	0,604 7	0,603 3	0,602 7	0,602 1
0,55	0,633 7	0,622 9	0,616 4	0,613 8	0,611 3	0,610 0	0,608 9	0,606 5	0,605 0	0,603 6	0,603 0	0,602 4
0,56	–	0,624 1	0,617 3	0,614 5	0,611 9	0,610 6	0,609 5	0,607 0	0,605 4	0,603 9	0,603 2	0,602 6
0,57	–	0,625 3	0,618 2	0,615 3	0,612 6	0,611 2	0,610 0	0,607 5	0,605 8	0,604 2	0,603 5	0,602 8
0,58	–	0,626 5	0,619 1	0,616 1	0,613 3	0,611 9	0,610 6	0,607 9	0,606 2	0,604 5	0,603 8	0,603 0
0,59	–	0,627 7	0,620 0	0,616 9	0,614 0	0,612 5	0,611 2	0,608 4	0,606 6	0,604 8	0,604 0	0,603 2
0,60	–	0,629 0	0,621 0	0,617 7	0,614 7	0,613 1	0,611 8	0,608 8	0,607 0	0,605 1	0,604 2	0,603 4
0,61	–	0,630 3	0,621 9	0,618 6	0,615 4	0,613 8	0,612 4	0,609 3	0,607 3	0,605 3	0,604 4	0,603 6
0,62	–	0,631 6	0,622 9	0,619 4	0,616 1	0,614 4	0,612 9	0,609 7	0,607 7	0,605 6	0,604 6	0,603 7
0,63	–	0,632 9	0,623 8	0,620 2	0,616 8	0,615 0	0,613 5	0,610 2	0,608 0	0,605 8	0,604 8	0,603 9
0,64	–	0,634 3	0,624 8	0,621 0	0,617 5	0,615 6	0,614 0	0,610 6	0,608 3	0,606 0	0,605 0	0,603 9
0,65	–	0,635 6	0,625 8	0,621 9	0,618 2	0,616 2	0,614 6	0,610 9	0,608 6	0,606 2	0,605 1	0,604 0
0,66	–	0,637 0	0,626 8	0,622 7	0,618 8	0,616 8	0,615 1	0,611 3	0,608 8	0,606 3	0,605 1	0,604 0
0,67	–	0,638 4	0,627 7	0,623 5	0,619 5	0,617 4	0,615 6	0,611 6	0,609 0	0,606 4	0,605 2	0,604 0
0,68	–	0,639 8	0,628 7	0,624 3	0,620 1	0,617 9	0,616 1	0,612 0	0,609 2	0,606 5	0,605 2	0,603 9
0,69	–	0,641 1	0,629 6	0,625 0	0,620 7	0,618 5	0,616 5	0,612 2	0,609 4	0,606 5	0,605 1	0,603 8
0,70	–	0,642 5	0,630 5	0,625 8	0,621 3	0,618 9	0,616 9	0,612 5	0,609 5	0,606 5	0,605 1	0,603 7
0,71	–	0,643 9	0,631 5	0,626 5	0,621 8	0,619 4	0,617 3	0,612 7	0,609 6	0,606 4	0,604 9	0,603 5
0,72	–	0,645 3	0,632 3	0,627 2	0,622 3	0,619 8	0,617 6	0,612 8	0,609 6	0,606 3	0,604 7	0,603 2
0,73	–	0,646 7	0,633 2	0,627 9	0,622 8	0,620 2	0,617 9	0,612 9	0,609 6	0,606 1	0,604 5	0,602 9
0,74	–	0,648 0	0,634 0	0,628 5	0,623 3	0,620 6	0,618 2	0,613 0	0,609 5	0,605 9	0,604 2	0,602 5
0,75	–	0,649 4	0,634 9	0,629 1	0,623 7	0,620 9	0,618 4	0,613 0	0,609 4	0,605 6	0,603 8	0,602 1

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.3
Placa de orificio con tomas de bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 50$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,25	0,610 2	0,606 9	0,604 8	0,604 0	0,603 2	0,602 9	0,602 5	0,601 9	0,601 6	0,601 4	0,601 3	0,601 2
0,26	0,610 6	0,607 1	0,605 0	0,604 1	0,603 3	0,602 9	0,602 6	0,602 0	0,601 6	0,601 4	0,601 3	0,601 2
0,28	0,611 4	0,607 6	0,605 3	0,604 4	0,603 5	0,603 1	0,602 8	0,602 1	0,601 7	0,601 4	0,601 3	0,601 2
0,30	0,612 3	0,608 2	0,605 7	0,604 7	0,603 8	0,603 4	0,603 0	0,602 2	0,601 8	0,601 5	0,601 4	0,601 3
0,32	0,613 2	0,608 9	0,606 2	0,605 2	0,604 2	0,603 7	0,603 2	0,602 4	0,601 9	0,601 6	0,601 4	0,601 3
0,34	0,614 3	0,609 7	0,606 8	0,605 6	0,604 5	0,604 0	0,603 5	0,602 6	0,602 1	0,601 7	0,601 6	0,601 4
0,36	0,615 5	0,610 5	0,607 4	0,606 2	0,605 0	0,604 4	0,603 9	0,602 9	0,602 3	0,601 9	0,601 7	0,601 6
0,38	0,616 9	0,611 5	0,608 1	0,606 8	0,605 5	0,604 9	0,604 3	0,603 2	0,602 6	0,602 1	0,601 9	0,601 7
0,40	0,618 4	0,612 5	0,608 9	0,607 5	0,606 1	0,605 4	0,604 8	0,603 6	0,602 9	0,602 3	0,602 1	0,601 9
0,42	0,620 0	0,613 7	0,609 8	0,608 2	0,606 8	0,606 0	0,605 4	0,604 1	0,603 3	0,602 6	0,602 3	0,602 1
0,44	0,621 9	0,615 0	0,610 8	0,609 1	0,607 5	0,606 7	0,606 0	0,604 5	0,603 7	0,602 9	0,602 6	0,602 3
0,46	0,623 9	0,616 4	0,611 9	0,610 0	0,608 3	0,607 4	0,606 7	0,605 1	0,604 1	0,603 3	0,602 9	0,602 6
0,48	0,626 0	0,618 0	0,613 0	0,611 0	0,609 2	0,608 2	0,607 4	0,605 7	0,604 6	0,603 6	0,603 2	0,602 8
0,50	0,628 4	0,619 6	0,614 3	0,612 1	0,610 1	0,609 1	0,608 2	0,606 3	0,605 1	0,604 0	0,603 6	0,603 1
0,51	0,629 7	0,620 5	0,614 9	0,612 7	0,610 6	0,609 5	0,608 6	0,606 6	0,605 4	0,604 2	0,603 7	0,603 3
0,52	0,631 0	0,621 4	0,615 6	0,613 3	0,611 1	0,610 0	0,609 0	0,606 9	0,605 6	0,604 4	0,603 9	0,603 4
0,53	0,632 4	0,622 4	0,616 3	0,613 9	0,611 6	0,610 5	0,609 4	0,607 3	0,605 9	0,604 6	0,604 1	0,603 5
0,54	0,633 8	0,623 4	0,617 1	0,614 5	0,612 2	0,610 9	0,609 9	0,607 6	0,606 2	0,604 8	0,604 2	0,603 7
0,55	0,635 2	0,624 4	0,617 8	0,615 2	0,612 7	0,611 4	0,610 3	0,608 0	0,606 5	0,605 0	0,604 4	0,603 8
0,56	0,636 7	0,625 4	0,618 6	0,615 9	0,613 3	0,611 9	0,610 8	0,608 3	0,606 7	0,605 2	0,604 5	0,603 9
0,57	0,638 3	0,626 5	0,619 4	0,616 5	0,613 8	0,612 4	0,611 2	0,608 7	0,607 0	0,605 4	0,604 7	0,604 0
0,58	0,639 9	0,627 6	0,620 2	0,617 2	0,614 4	0,613 0	0,611 7	0,609 0	0,607 3	0,605 6	0,604 8	0,604 1
0,59	0,641 6	0,628 7	0,621 0	0,617 9	0,615 0	0,613 5	0,612 2	0,609 3	0,607 5	0,605 8	0,605 0	0,604 2
0,60	0,643 3	0,629 9	0,621 8	0,618 6	0,615 5	0,614 0	0,612 6	0,609 7	0,607 8	0,605 9	0,605 1	0,604 3
0,61	0,645 0	0,631 0	0,622 7	0,619 3	0,616 1	0,614 5	0,613 1	0,610 0	0,608 0	0,606 0	0,605 1	0,604 3
0,62	0,646 8	0,632 2	0,623 5	0,620 0	0,616 7	0,615 0	0,613 5	0,610 3	0,608 2	0,606 2	0,605 2	0,604 3
0,63	0,648 6	0,633 4	0,624 3	0,620 7	0,617 3	0,615 5	0,613 9	0,610 6	0,608 4	0,606 2	0,605 3	0,604 3
0,64	0,650 5	0,634 7	0,625 2	0,621 4	0,617 8	0,616 0	0,614 4	0,610 9	0,608 6	0,606 3	0,605 3	0,604 3
0,65	0,652 4	0,635 9	0,626 0	0,622 1	0,618 4	0,616 4	0,614 8	0,611 1	0,608 8	0,606 4	0,605 3	0,604 2
0,66	0,654 4	0,637 1	0,626 9	0,622 8	0,618 9	0,616 9	0,615 2	0,611 4	0,608 9	0,606 4	0,605 2	0,604 1
0,67	0,656 4	0,638 4	0,627 7	0,623 4	0,619 4	0,617 3	0,615 5	0,611 6	0,609 0	0,606 3	0,605 1	0,603 9
0,68	0,658 4	0,639 6	0,628 5	0,624 1	0,619 9	0,617 7	0,615 8	0,611 7	0,609 0	0,606 2	0,605 0	0,603 7
0,69	0,660 4	0,640 9	0,629 3	0,624 7	0,620 4	0,618 1	0,616 1	0,611 9	0,609 0	0,606 1	0,604 8	0,603 5
0,70	0,662 5	0,642 1	0,630 1	0,625 3	0,620 8	0,618 5	0,616 4	0,612 0	0,609 0	0,606 0	0,604 5	0,603 2
0,71	0,664 6	0,643 4	0,630 9	0,625 9	0,621 2	0,618 8	0,616 6	0,612 0	0,608 9	0,605 7	0,604 3	0,602 8
0,72	0,666 7	0,644 6	0,631 6	0,626 5	0,621 6	0,619 0	0,616 8	0,612 0	0,608 8	0,605 5	0,603 9	0,602 4
0,73	0,668 9	0,645 9	0,632 3	0,627 0	0,621 9	0,619 3	0,617 0	0,612 0	0,608 6	0,605 1	0,603 5	0,601 9
0,74	0,671 0	0,647 1	0,633 0	0,627 5	0,622 2	0,619 5	0,617 1	0,611 9	0,608 4	0,604 7	0,603 0	0,601 4
0,75	0,673 2	0,648 3	0,633 7	0,627 9	0,622 4	0,619 6	0,617 1	0,611 7	0,608 1	0,604 3	0,602 5	0,600 8

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se preveen para una interpolación. precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.4
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 75$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,17	0,602 7	0,600 3	0,598 8	0,598 2	0,597 7	0,597 4	0,597 2	0,596 7	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 3
0,18	0,603 1	0,600 5	0,599 0	0,598 4	0,597 8	0,597 5	0,597 3	0,596 8	0,596 6	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,20	0,603 8	0,601 1	0,599 4	0,598 7	0,598 1	0,597 7	0,597 5	0,597 0	0,596 7	0,596 6	0,596 5	0,596 5
0,22	0,604 6	0,601 6	0,599 8	0,599 0	0,598 4	0,598 0	0,597 7	0,597 2	0,596 9	0,596 7	0,596 7	0,596 6
0,24	0,605 4	0,602 2	0,600 2	0,599 4	0,598 7	0,598 3	0,598 0	0,597 4	0,597 1	0,596 9	0,596 9	0,596 8
0,26	0,606 4	0,602 9	0,600 7	0,599 9	0,599 1	0,598 7	0,598 4	0,597 7	0,597 4	0,597 1	0,597 0	0,597 0
0,28	0,607 4	0,603 6	0,601 3	0,600 4	0,599 5	0,599 1	0,598 7	0,598 0	0,597 6	0,597 4	0,597 3	0,597 2
0,30	0,608 4	0,604 4	0,601 9	0,600 9	0,600 0	0,599 5	0,599 1	0,598 4	0,597 9	0,597 6	0,597 5	0,597 4
0,32	0,609 6	0,605 3	0,602 6	0,601 5	0,600 5	0,600 0	0,599 6	0,598 8	0,598 3	0,597 9	0,597 8	0,597 7
0,34	0,610 9	0,606 2	0,603 3	0,602 2	0,601 1	0,600 6	0,600 1	0,599 2	0,598 7	0,598 3	0,598 1	0,598 0
0,36	0,612 3	0,607 3	0,604 2	0,602 9	0,601 7	0,601 2	0,600 7	0,599 7	0,599 1	0,598 6	0,598 4	0,598 3
0,38	0,613 9	0,608 4	0,605 1	0,603 7	0,602 5	0,601 8	0,601 3	0,600 2	0,599 5	0,599 0	0,598 8	0,598 6
0,40	0,615 5	0,609 7	0,606 0	0,604 6	0,603 2	0,602 5	0,602 0	0,600 8	0,600 0	0,599 4	0,599 2	0,599 0
0,42	0,617 4	0,611 0	0,607 1	0,605 5	0,604 1	0,603 3	0,602 7	0,601 4	0,600 6	0,599 9	0,599 6	0,599 4
0,44	0,619 4	0,612 5	0,608 3	0,606 6	0,605 0	0,604 2	0,603 5	0,602 0	0,601 2	0,600 4	0,600 1	0,599 8
0,46	0,621 6	0,614 1	0,609 5	0,607 7	0,605 9	0,605 1	0,604 3	0,602 7	0,601 8	0,600 9	0,600 5	0,600 2
0,48	0,623 9	0,615 8	0,610 8	0,608 9	0,607 0	0,606 0	0,605 2	0,603 5	0,602 4	0,601 4	0,601 0	0,600 6
0,50	0,626 4	0,617 6	0,612 3	0,610 1	0,608 1	0,607 0	0,606 1	0,604 2	0,603 1	0,602 0	0,601 5	0,601 1
0,51	0,627 8	0,618 6	0,613 0	0,610 7	0,608 6	0,607 5	0,606 6	0,604 6	0,603 4	0,602 2	0,601 7	0,601 3
0,52	0,629 2	0,619 6	0,613 8	0,611 4	0,609 2	0,608 1	0,607 1	0,605 0	0,603 7	0,602 5	0,602 0	0,601 5
0,53	0,630 6	0,620 6	0,614 5	0,612 1	0,609 8	0,608 6	0,607 6	0,605 4	0,604 1	0,602 8	0,602 2	0,601 7
0,54	0,632 1	0,621 6	0,615 3	0,612 8	0,610 4	0,609 2	0,608 1	0,605 8	0,604 4	0,603 0	0,602 4	0,601 9
0,55	0,633 6	0,622 7	0,616 1	0,613 5	0,611 0	0,609 7	0,608 6	0,606 2	0,604 7	0,603 3	0,602 7	0,602 1
0,56	0,635 2	0,623 8	0,617 0	0,614 2	0,611 6	0,610 3	0,609 1	0,606 6	0,605 1	0,603 5	0,602 9	0,602 2
0,57	0,636 8	0,624 9	0,617 8	0,614 9	0,612 2	0,610 8	0,609 6	0,607 0	0,605 4	0,603 8	0,603 1	0,602 4
0,58	0,638 5	0,626 1	0,618 6	0,615 6	0,612 8	0,611 4	0,610 1	0,607 4	0,605 7	0,604 0	0,603 2	0,602 5
0,59	0,640 2	0,627 3	0,619 5	0,616 4	0,613 4	0,611 9	0,610 6	0,607 8	0,606 0	0,604 2	0,603 4	0,602 6
0,60	0,641 9	0,628 4	0,620 3	0,617 1	0,614 0	0,612 5	0,611 1	0,608 2	0,606 3	0,604 4	0,603 5	0,602 7
0,61	0,643 7	0,629 6	0,621 2	0,617 8	0,614 6	0,613 0	0,611 6	0,608 5	0,606 5	0,604 5	0,603 6	0,602 8
0,62	0,645 5	0,630 9	0,622 1	0,618 6	0,615 2	0,613 5	0,612 0	0,608 8	0,606 7	0,604 7	0,603 7	0,602 8
0,63	–	0,632 1	0,622 9	0,619 3	0,615 8	0,614 0	0,612 5	0,609 1	0,606 9	0,604 8	0,603 8	0,602 8
0,64	–	0,633 3	0,623 8	0,620 0	0,616 4	0,614 5	0,612 9	0,609 4	0,607 1	0,604 8	0,603 8	0,602 8
0,65	–	0,634 6	0,624 6	0,620 7	0,616 9	0,615 0	0,613 3	0,609 7	0,607 3	0,604 9	0,603 8	0,602 7
0,66	–	0,635 8	0,625 5	0,621 3	0,617 4	0,615 4	0,613 7	0,609 9	0,607 4	0,604 8	0,603 7	0,602 6
0,67	–	0,637 0	0,626 3	0,622 0	0,617 9	0,615 8	0,614 0	0,610 0	0,607 4	0,604 8	0,603 6	0,602 4
0,68	–	0,638 2	0,627 0	0,622 6	0,618 4	0,616 2	0,614 3	0,610 2	0,607 4	0,604 6	0,603 4	0,602 1
0,69	–	0,639 5	0,627 8	0,623 2	0,618 8	0,616 5	0,614 5	0,610 2	0,607 4	0,604 5	0,603 1	0,601 8
0,70	–	0,640 7	0,628 5	0,623 7	0,619 1	0,616 8	0,614 7	0,610 2	0,607 3	0,604 2	0,602 8	0,601 4
0,71	–	0,641 8	0,629 2	0,624 2	0,619 4	0,617 0	0,614 8	0,610 2	0,607 1	0,603 9	0,602 4	0,601 0
0,72	–	0,643 0	0,629 8	0,624 6	0,619 7	0,617 1	0,614 9	0,610 1	0,606 8	0,603 5	0,601 9	0,600 4
0,73	–	0,644 1	0,630 4	0,625 0	0,619 9	0,617 2	0,614 9	0,609 9	0,606 5	0,603 0	0,601 4	0,599 8
0,74	–	0,645 1	0,631 0	0,625 3	0,620 0	0,617 3	0,614 9	0,609 6	0,606 1	0,602 5	0,600 8	0,599 1
0,75	–	0,646 2	0,631 4	0,625 6	0,620 1	0,617 2	0,614 7	0,609 3	0,605 6	0,601 8	0,600 0	0,598 3

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se preveen para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.5
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 100$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,13	0,601 4	0,599 4	0,598 2	0,597 7	0,597 3	0,597 1	0,596 9	0,596 6	0,596 4	0,596 3	0,596 2	0,596 2
0,14	0,601 8	0,599 7	0,598 4	0,597 9	0,597 4	0,597 2	0,597 0	0,596 6	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,16	0,602 5	0,600 1	0,598 7	0,598 1	0,597 6	0,597 4	0,597 2	0,596 8	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,18	0,603 2	0,600 6	0,599 1	0,598 5	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,596 9	0,596 7	0,596 5	0,596 5	0,596 5
0,20	0,603 9	0,601 2	0,599 5	0,598 8	0,598 2	0,597 9	0,597 6	0,597 1	0,596 9	0,596 7	0,596 6	0,596 6
0,22	0,604 7	0,601 7	0,599 9	0,599 2	0,598 5	0,598 1	0,597 9	0,597 3	0,597 0	0,596 9	0,596 8	0,596 8
0,24	0,605 6	0,602 4	0,600 4	0,599 6	0,598 8	0,598 5	0,598 2	0,597 6	0,597 3	0,597 0	0,597 0	0,596 9
0,26	0,606 5	0,603 0	0,600 9	0,600 0	0,599 2	0,598 8	0,598 5	0,597 9	0,597 5	0,597 3	0,597 2	0,597 1
0,28	0,607 5	0,603 8	0,601 4	0,600 5	0,599 7	0,599 2	0,598 9	0,598 2	0,597 8	0,597 5	0,597 4	0,597 4
0,30	0,608 6	0,604 6	0,602 1	0,601 1	0,600 2	0,599 7	0,599 3	0,598 5	0,598 1	0,597 8	0,597 7	0,597 6
0,32	0,609 8	0,605 4	0,602 8	0,601 7	0,600 7	0,600 2	0,599 8	0,598 9	0,598 5	0,598 1	0,598 0	0,597 9
0,34	0,611 1	0,606 4	0,603 5	0,602 4	0,601 3	0,600 7	0,600 3	0,599 4	0,598 8	0,598 4	0,598 3	0,598 2
0,36	0,612 5	0,607 5	0,604 3	0,603 1	0,601 9	0,601 3	0,600 8	0,599 8	0,599 3	0,598 8	0,598 6	0,598 5
0,38	0,614 1	0,608 6	0,605 2	0,603 9	0,602 6	0,602 0	0,601 5	0,600 4	0,599 7	0,599 2	0,599 0	0,598 8
0,40	0,615 7	0,609 9	0,606 2	0,604 8	0,603 4	0,602 7	0,602 1	0,600 9	0,600 2	0,599 6	0,599 4	0,599 2
0,42	0,617 6	0,611 2	0,607 3	0,605 7	0,604 2	0,603 5	0,602 9	0,601 5	0,600 8	0,600 1	0,599 8	0,599 6
0,44	0,619 6	0,612 7	0,608 4	0,606 7	0,605 1	0,604 3	0,603 6	0,602 2	0,601 3	0,600 5	0,600 2	0,600 0
0,46	0,621 7	0,614 2	0,609 7	0,607 8	0,606 1	0,605 2	0,604 4	0,602 9	0,601 9	0,601 0	0,600 7	0,600 3
0,48	0,624 1	0,615 9	0,611 0	0,609 0	0,607 1	0,606 1	0,605 3	0,603 6	0,602 5	0,601 5	0,601 1	0,600 7
0,50	0,626 6	0,617 7	0,612 4	0,610 2	0,608 1	0,607 1	0,606 2	0,604 3	0,603 1	0,602 0	0,601 6	0,601 1
0,51	0,627 9	0,618 7	0,613 1	0,610 8	0,608 7	0,607 6	0,606 7	0,604 7	0,603 4	0,602 3	0,601 8	0,601 3
0,52	0,629 3	0,619 7	0,613 8	0,611 5	0,609 2	0,608 1	0,607 1	0,605 1	0,603 8	0,602 5	0,602 0	0,601 5
0,53	0,630 7	0,620 7	0,614 6	0,612 1	0,609 8	0,608 6	0,607 6	0,605 4	0,604 1	0,602 8	0,602 2	0,601 7
0,54	0,632 2	0,621 7	0,615 3	0,612 8	0,610 4	0,609 1	0,608 1	0,605 8	0,604 4	0,603 0	0,602 4	0,601 8
0,55	–	0,622 7	0,616 1	0,613 5	0,610 9	0,609 7	0,608 5	0,606 2	0,604 7	0,603 2	0,602 6	0,602 0
0,56	–	0,623 8	0,616 9	0,614 1	0,611 5	0,610 2	0,609 0	0,606 5	0,605 0	0,603 4	0,602 8	0,602 1
0,57	–	0,624 9	0,617 7	0,614 8	0,612 1	0,610 7	0,609 5	0,606 9	0,605 2	0,603 6	0,602 9	0,602 2
0,58	–	0,626 0	0,618 5	0,615 5	0,612 7	0,611 2	0,610 0	0,607 2	0,605 5	0,603 8	0,603 1	0,602 3
0,59	–	0,627 1	0,619 3	0,616 2	0,613 2	0,611 7	0,610 4	0,607 6	0,605 8	0,604 0	0,603 2	0,602 4
0,60	–	0,628 3	0,620 1	0,616 9	0,613 8	0,612 2	0,610 8	0,607 9	0,606 0	0,604 1	0,603 3	0,602 5
0,61	–	0,629 4	0,620 9	0,617 6	0,614 3	0,612 7	0,611 3	0,608 2	0,606 2	0,604 2	0,603 3	0,602 5
0,62	–	0,630 6	0,621 8	0,618 2	0,614 9	0,613 2	0,611 7	0,608 5	0,606 4	0,604 3	0,603 3	0,602 4
0,63	–	0,631 8	0,622 6	0,618 9	0,615 4	0,613 6	0,612 0	0,608 7	0,606 5	0,604 3	0,603 3	0,602 4
0,64	–	0,632 9	0,623 3	0,619 5	0,615 9	0,614 0	0,612 4	0,608 9	0,606 6	0,604 3	0,603 3	0,602 2
0,65	–	0,634 1	0,624 1	0,620 1	0,616 3	0,614 4	0,612 7	0,609 1	0,606 7	0,604 2	0,603 1	0,602 1
0,66	–	0,635 3	0,624 9	0,620 7	0,616 8	0,614 8	0,613 0	0,609 2	0,606 7	0,604 1	0,603 0	0,601 9
0,67	–	0,636 4	0,625 6	0,621 2	0,617 2	0,615 1	0,613 2	0,609 2	0,606 6	0,604 0	0,602 8	0,601 6
0,68	–	0,637 5	0,626 3	0,621 8	0,617 5	0,615 3	0,613 4	0,609 3	0,606 5	0,603 7	0,602 5	0,601 2
0,69	–	0,638 7	0,626 9	0,622 2	0,617 8	0,615 5	0,613 5	0,609 2	0,606 3	0,603 4	0,602 1	0,600 8
0,70	–	0,639 7	0,627 5	0,622 6	0,618 0	0,615 7	0,613 6	0,609 1	0,606 1	0,603 1	0,601 6	0,600 3
0,71	–	0,640 8	0,628 0	0,623 0	0,618 2	0,615 7	0,613 6	0,608 9	0,605 8	0,602 6	0,601 1	0,599 7
0,72	–	0,641 8	0,628 5	0,623 3	0,618 3	0,615 7	0,613 5	0,608 6	0,605 4	0,602 0	0,600 5	0,599 0
0,73	–	0,642 8	0,629 0	0,623 5	0,618 3	0,615 7	0,613 3	0,608 3	0,604 9	0,601 4	0,599 8	0,598 2
0,74	–	0,643 7	0,629 3	0,623 6	0,618 3	0,615 5	0,613 1	0,607 8	0,604 3	0,600 6	0,598 9	0,597 3
0,75	–	0,644 5	0,629 6	0,623 7	0,618 1	0,615 3	0,612 7	0,607 2	0,603 6	0,599 8	0,598 0	0,596 2

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se proveen para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.6
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 150$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 5	0,598 8	0,597 8	0,597 4	0,597 1	0,596 9	0,596 7	0,596 5	0,596 3	0,596 2	0,596 2	0,596 2
0,12	0,601 2	0,599 3	0,598 1	0,597 7	0,597 3	0,597 1	0,596 9	0,596 6	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,14	0,601 8	0,599 8	0,598 5	0,598 0	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,596 7	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,16	0,602 5	0,600 2	0,598 8	0,598 2	0,597 7	0,597 5	0,597 3	0,596 9	0,596 6	0,596 5	0,596 5	0,596 5
0,18	0,603 3	0,600 7	0,599 2	0,598 6	0,598 0	0,597 7	0,597 5	0,597 0	0,596 8	0,596 7	0,596 6	0,596 6
0,20	0,604 1	0,601 3	0,599 6	0,598 9	0,598 3	0,598 0	0,597 7	0,597 2	0,597 0	0,596 8	0,596 8	0,596 7
0,22	0,604 9	0,601 9	0,600 0	0,599 3	0,598 6	0,598 3	0,598 0	0,597 5	0,597 2	0,597 0	0,596 9	0,596 9
0,24	0,605 7	0,602 5	0,600 5	0,599 7	0,599 0	0,598 6	0,598 3	0,597 7	0,597 4	0,597 2	0,597 1	0,597 1
0,26	0,606 7	0,603 2	0,601 1	0,600 2	0,599 4	0,599 0	0,598 7	0,598 0	0,597 7	0,597 4	0,597 4	0,597 3
0,28	0,607 7	0,603 9	0,601 6	0,600 7	0,599 8	0,599 4	0,599 1	0,598 4	0,598 0	0,597 7	0,597 6	0,597 5
0,30	0,608 8	0,604 8	0,602 3	0,601 3	0,600 3	0,599 9	0,599 5	0,598 7	0,598 3	0,598 0	0,597 9	0,597 8
0,32	0,610 0	0,605 6	0,603 0	0,601 9	0,600 9	0,600 4	0,600 0	0,599 1	0,598 7	0,598 3	0,598 2	0,598 1
0,34	0,611 3	0,606 6	0,603 7	0,602 6	0,601 5	0,600 9	0,600 5	0,599 6	0,599 0	0,598 6	0,598 5	0,598 4
0,36	0,612 7	0,607 7	0,604 5	0,603 3	0,602 1	0,601 5	0,601 0	0,600 0	0,599 5	0,599 0	0,598 8	0,598 7
0,38	0,614 3	0,608 8	0,605 4	0,604 1	0,602 8	0,602 2	0,601 7	0,600 6	0,599 9	0,599 4	0,599 2	0,599 0
0,40	0,616 0	0,610 1	0,606 4	0,605 0	0,603 6	0,602 9	0,602 3	0,601 1	0,600 4	0,599 8	0,599 6	0,599 4
0,42	0,617 8	0,611 4	0,607 5	0,605 9	0,604 4	0,603 7	0,603 0	0,601 7	0,600 9	0,600 2	0,600 0	0,599 7
0,44	0,619 8	0,612 8	0,608 6	0,606 9	0,605 3	0,604 5	0,603 8	0,602 3	0,601 5	0,600 7	0,600 4	0,600 1
0,46	–	0,614 4	0,609 8	0,607 9	0,606 2	0,605 3	0,604 6	0,603 0	0,602 0	0,601 1	0,600 8	0,600 5
0,48	–	0,616 0	0,611 1	0,609 1	0,607 2	0,606 2	0,605 4	0,603 6	0,602 6	0,601 6	0,601 2	0,600 8
0,50	–	0,617 8	0,612 4	0,610 2	0,608 2	0,607 1	0,606 2	0,604 3	0,603 1	0,602 1	0,601 6	0,601 2
0,51	–	0,618 7	0,613 1	0,610 8	0,608 7	0,607 6	0,606 7	0,604 7	0,603 4	0,602 3	0,601 8	0,601 3
0,52	–	0,619 7	0,613 8	0,611 4	0,609 2	0,608 1	0,607 1	0,605 0	0,603 7	0,602 5	0,602 0	0,601 5
0,53	–	0,620 6	0,614 5	0,612 1	0,609 7	0,608 6	0,607 5	0,605 4	0,604 0	0,602 7	0,602 1	0,601 6
0,54	–	0,621 6	0,615 3	0,612 7	0,610 3	0,609 0	0,608 0	0,605 7	0,604 2	0,602 9	0,602 3	0,601 7
0,55	–	0,622 6	0,616 0	0,613 3	0,610 8	0,609 5	0,608 4	0,606 0	0,604 5	0,603 1	0,602 4	0,601 8
0,56	–	0,623 7	0,616 7	0,614 0	0,611 3	0,610 0	0,608 8	0,606 3	0,604 7	0,603 2	0,602 5	0,601 9
0,57	–	0,624 7	0,617 5	0,614 6	0,611 9	0,610 5	0,609 2	0,606 6	0,605 0	0,603 4	0,602 6	0,602 0
0,58	–	0,625 8	0,618 2	0,615 2	0,612 4	0,610 9	0,609 6	0,606 9	0,605 2	0,603 5	0,602 7	0,602 0
0,59	–	0,626 9	0,619 0	0,615 9	0,612 9	0,611 4	0,610 0	0,607 2	0,605 4	0,603 6	0,602 8	0,602 0
0,60	–	0,628 0	0,619 8	0,616 5	0,613 4	0,611 8	0,610 4	0,607 4	0,605 5	0,603 6	0,602 8	0,602 0
0,61	–	0,629 0	0,620 5	0,617 1	0,613 8	0,612 2	0,610 7	0,607 6	0,605 6	0,603 7	0,602 8	0,601 9
0,62	–	0,630 1	0,621 2	0,617 7	0,614 3	0,612 6	0,611 1	0,607 8	0,605 7	0,603 6	0,602 7	0,601 8
0,63	–	–	0,621 9	0,618 2	0,614 7	0,612 9	0,611 4	0,608 0	0,605 8	0,603 6	0,602 6	0,601 6
0,64	–	–	0,622 6	0,618 8	0,615 1	0,613 2	0,611 6	0,608 1	0,605 8	0,603 5	0,602 4	0,601 4
0,65	–	–	0,623 3	0,619 3	0,615 5	0,613 5	0,611 8	0,608 1	0,605 7	0,603 3	0,602 2	0,601 1
0,66	–	–	0,623 9	0,619 7	0,615 8	0,613 8	0,612 0	0,608 1	0,605 6	0,603 1	0,601 9	0,600 8
0,67	–	–	0,624 5	0,620 2	0,616 0	0,613 9	0,612 1	0,608 1	0,605 4	0,602 8	0,601 6	0,600 4
0,68	–	–	0,625 1	0,620 5	0,616 2	0,614 0	0,612 1	0,607 9	0,605 2	0,602 4	0,601 1	0,599 9
0,69	–	–	0,625 6	0,620 9	0,616 4	0,614 1	0,612 1	0,607 7	0,604 9	0,601 9	0,600 6	0,599 3
0,70	–	–	0,626 0	0,621 1	0,616 5	0,614 1	0,612 0	0,607 4	0,604 4	0,601 4	0,600 0	0,598 6
0,71	–	–	0,626 4	0,621 3	0,616 5	0,614 0	0,611 8	0,607 1	0,603 9	0,600 7	0,599 3	0,597 8
0,72	–	–	0,626 7	0,621 4	0,616 4	0,613 8	0,611 5	0,606 6	0,603 3	0,600 0	0,598 4	0,596 9
0,73	–	–	0,626 9	0,621 4	0,616 2	0,613 5	0,611 1	0,606 0	0,602 6	0,599 1	0,597 5	0,595 9
0,74	–	–	0,627 1	0,621 3	0,615 9	0,613 1	0,610 6	0,605 3	0,601 7	0,598 1	0,596 4	0,594 7
0,75	–	–	0,627 1	0,621 1	0,615 4	0,612 5	0,610 0	0,604 4	0,600 7	0,596 9	0,595 1	0,593 4

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.7
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 200$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 5	0,598 9	0,597 9	0,597 5	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 5	0,596 3	0,596 3	0,596 2	0,596 2
0,12	0,601 2	0,599 3	0,598 2	0,597 7	0,597 3	0,597 1	0,596 9	0,596 6	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,14	0,601 9	0,599 8	0,598 5	0,598 0	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,596 7	0,596 6	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,16	0,602 6	0,600 3	0,598 9	0,598 3	0,597 8	0,597 5	0,597 3	0,596 9	0,596 7	0,596 6	0,596 5	0,596 5
0,18	0,603 3	0,600 8	0,599 3	0,598 6	0,598 1	0,597 8	0,597 5	0,597 1	0,596 9	0,596 7	0,596 7	0,596 7
0,20	0,604 1	0,601 4	0,599 7	0,599 0	0,598 4	0,598 1	0,597 8	0,597 3	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 8
0,22	0,605 0	0,602 0	0,600 1	0,599 4	0,598 7	0,598 4	0,598 1	0,597 6	0,597 3	0,597 1	0,597 0	0,597 0
0,24	0,605 8	0,602 6	0,600 6	0,599 8	0,599 1	0,598 7	0,598 4	0,597 8	0,597 5	0,597 3	0,597 2	0,597 2
0,26	0,606 8	0,603 3	0,601 1	0,600 3	0,599 5	0,599 1	0,598 8	0,598 1	0,597 8	0,597 5	0,597 5	0,597 4
0,28	0,607 8	0,604 1	0,601 7	0,600 8	0,600 0	0,599 5	0,599 2	0,598 5	0,598 1	0,597 8	0,597 7	0,597 6
0,30	0,608 9	0,604 9	0,602 4	0,601 4	0,600 5	0,600 0	0,599 6	0,598 8	0,598 4	0,598 1	0,598 0	0,597 9
0,32	0,610 1	0,605 8	0,603 1	0,602 0	0,601 0	0,600 5	0,600 1	0,599 2	0,598 8	0,598 4	0,598 3	0,598 2
0,34	0,611 4	0,606 7	0,603 8	0,602 7	0,601 6	0,601 1	0,600 6	0,599 7	0,599 2	0,598 7	0,598 6	0,598 5
0,36	0,612 8	0,607 8	0,604 7	0,603 4	0,602 2	0,601 7	0,601 2	0,600 2	0,599 6	0,599 1	0,598 9	0,598 8
0,38	0,614 4	0,608 9	0,605 6	0,604 2	0,602 9	0,602 3	0,601 8	0,600 7	0,600 0	0,599 5	0,599 3	0,599 1
0,40	–	0,610 2	0,606 5	0,605 1	0,603 7	0,603 0	0,602 4	0,601 2	0,600 5	0,599 9	0,599 7	0,599 5
0,42	–	0,611 5	0,607 6	0,606 0	0,604 5	0,603 8	0,603 1	0,601 8	0,601 0	0,600 3	0,600 1	0,599 8
0,44	–	0,612 9	0,608 7	0,607 0	0,605 4	0,604 5	0,603 8	0,602 4	0,601 5	0,600 8	0,600 4	0,600 2
0,46	–	0,614 5	0,609 9	0,608 0	0,606 3	0,605 4	0,604 6	0,603 0	0,602 1	0,601 2	0,600 8	0,600 5
0,48	–	0,616 1	0,611 1	0,609 1	0,607 2	0,606 2	0,605 4	0,603 7	0,602 6	0,601 6	0,601 2	0,600 9
0,50	–	0,617 9	0,612 4	0,610 2	0,608 2	0,607 1	0,606 2	0,604 3	0,603 2	0,602 1	0,601 6	0,601 2
0,51	–	0,618 8	0,613 1	0,610 8	0,608 7	0,607 6	0,606 7	0,604 7	0,603 4	0,602 3	0,601 8	0,601 3
0,52	–	0,619 7	0,613 8	0,611 4	0,609 2	0,608 1	0,607 1	0,605 0	0,603 7	0,602 5	0,601 9	0,601 4
0,53	–	0,620 6	0,614 5	0,612 0	0,609 7	0,608 5	0,607 5	0,605 3	0,603 9	0,602 6	0,602 1	0,601 5
0,54	–	0,621 6	0,615 2	0,612 6	0,610 2	0,609 0	0,607 9	0,605 6	0,604 2	0,602 8	0,602 2	0,601 6
0,55	–	–	0,615 9	0,613 2	0,610 7	0,609 4	0,608 3	0,605 9	0,604 4	0,603 0	0,602 3	0,601 7
0,56	–	–	0,616 6	0,613 8	0,611 2	0,609 9	0,608 7	0,606 2	0,604 6	0,603 1	0,602 4	0,601 8
0,57	–	–	0,617 4	0,614 5	0,611 7	0,610 3	0,609 1	0,606 5	0,604 8	0,603 2	0,602 5	0,601 8
0,58	–	–	0,618 1	0,615 1	0,612 2	0,610 7	0,609 4	0,606 7	0,605 0	0,603 3	0,602 5	0,601 8
0,59	–	–	0,618 8	0,615 6	0,612 7	0,611 1	0,609 8	0,607 0	0,605 1	0,603 3	0,602 5	0,601 8
0,60	–	–	0,619 5	0,616 2	0,613 1	0,611 5	0,610 1	0,607 2	0,605 2	0,603 4	0,602 5	0,601 7
0,61	–	–	0,620 2	0,616 8	0,613 5	0,611 9	0,610 4	0,607 3	0,605 3	0,603 3	0,602 4	0,601 6
0,62	–	–	0,620 9	0,617 3	0,613 9	0,612 2	0,610 7	0,607 5	0,605 3	0,603 3	0,602 3	0,601 4
0,63	–	–	0,621 6	0,617 8	0,614 3	0,612 5	0,610 9	0,607 6	0,605 3	0,603 2	0,602 2	0,601 2
0,64	–	–	0,622 2	0,618 3	0,614 7	0,612 8	0,611 1	0,607 6	0,605 3	0,603 0	0,601 9	0,600 9
0,65	–	–	0,622 8	0,618 8	0,615 0	0,613 0	0,611 3	0,607 6	0,605 2	0,602 8	0,601 6	0,600 6
0,66	–	–	0,623 4	0,619 2	0,615 2	0,613 2	0,611 4	0,607 5	0,605 0	0,602 5	0,601 3	0,600 2
0,67	–	–	0,623 9	0,619 5	0,615 4	0,613 3	0,611 4	0,607 4	0,604 7	0,602 1	0,600 9	0,599 7
0,68	–	–	0,624 4	0,619 8	0,615 5	0,613 3	0,611 4	0,607 2	0,604 4	0,601 6	0,600 3	0,599 1
0,69	–	–	0,624 8	0,620 1	0,615 6	0,613 3	0,611 2	0,606 9	0,604 0	0,601 1	0,599 7	0,598 4
0,70	–	–	0,625 2	0,620 2	0,615 5	0,613 1	0,611 0	0,606 5	0,603 5	0,600 4	0,599 0	0,597 6
0,71	–	–	0,625 5	0,620 3	0,615 4	0,612 9	0,610 7	0,606 0	0,602 8	0,599 6	0,598 2	0,596 7
0,72	–	–	0,625 7	0,620 3	0,615 2	0,612 6	0,610 3	0,605 4	0,602 1	0,598 8	0,597 2	0,595 7
0,73	–	–	0,625 8	0,620 2	0,614 9	0,612 2	0,609 8	0,604 7	0,601 2	0,597 7	0,596 1	0,594 5
0,74	–	–	0,625 8	0,619 9	0,614 5	0,611 6	0,609 2	0,603 8	0,600 2	0,596 6	0,594 9	0,593 2
0,75	–	–	0,625 6	0,619 6	0,613 9	0,611 0	0,608 4	0,602 8	0,599 1	0,595 3	0,593 5	0,591 7

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.8
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 250$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 5	0,598 9	0,597 9	0,597 5	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 5	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,12	0,601 2	0,599 4	0,598 2	0,597 7	0,597 3	0,597 1	0,597 0	0,596 6	0,596 5	0,596 4	0,596 3	0,596 3
0,14	0,601 9	0,599 8	0,598 5	0,598 0	0,597 6	0,597 3	0,597 1	0,596 8	0,596 6	0,596 5	0,596 5	0,596 4
0,16	0,602 6	0,600 3	0,598 9	0,598 3	0,597 8	0,597 6	0,597 4	0,596 9	0,596 7	0,596 6	0,596 6	0,596 6
0,18	0,603 4	0,600 9	0,599 3	0,598 7	0,598 1	0,597 8	0,597 6	0,597 1	0,596 9	0,596 8	0,596 7	0,596 7
0,20	0,604 2	0,601 4	0,599 7	0,599 0	0,598 4	0,598 1	0,597 9	0,597 4	0,597 1	0,596 9	0,596 9	0,596 9
0,22	0,605 0	0,602 0	0,600 2	0,599 4	0,598 8	0,598 4	0,598 1	0,597 6	0,597 3	0,597 1	0,597 1	0,597 1
0,24	0,605 9	0,602 7	0,600 7	0,599 9	0,599 1	0,598 8	0,598 5	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,597 3	0,597 3
0,26	0,606 8	0,603 4	0,601 2	0,600 4	0,599 6	0,599 2	0,598 8	0,598 2	0,597 8	0,597 6	0,597 5	0,597 5
0,28	0,607 9	0,604 1	0,601 8	0,600 9	0,600 0	0,599 6	0,599 2	0,598 5	0,598 1	0,597 9	0,597 8	0,597 7
0,30	0,609 0	0,604 9	0,602 5	0,601 5	0,600 5	0,600 1	0,599 7	0,598 9	0,598 5	0,598 2	0,598 1	0,598 0
0,32	0,610 2	0,605 8	0,603 2	0,602 1	0,601 1	0,600 6	0,600 2	0,599 3	0,598 8	0,598 5	0,598 4	0,598 3
0,34	0,611 5	0,606 8	0,603 9	0,602 8	0,601 7	0,601 1	0,600 7	0,599 8	0,599 2	0,598 8	0,598 7	0,598 6
0,36	–	0,607 9	0,604 7	0,603 5	0,602 3	0,601 7	0,601 2	0,600 2	0,599 7	0,599 2	0,599 0	0,598 9
0,38	–	0,609 0	0,605 6	0,604 3	0,603 0	0,602 4	0,601 8	0,600 7	0,600 1	0,599 6	0,599 4	0,599 2
0,40	–	0,610 2	0,606 6	0,605 1	0,603 8	0,603 1	0,602 5	0,601 3	0,600 6	0,600 0	0,599 7	0,599 5
0,42	–	0,611 6	0,607 6	0,606 1	0,604 6	0,603 8	0,603 2	0,601 9	0,601 1	0,600 4	0,600 1	0,599 9
0,44	–	0,613 0	0,608 7	0,607 0	0,605 4	0,604 6	0,603 9	0,602 5	0,601 6	0,600 8	0,600 5	0,600 2
0,46	–	0,614 5	0,609 9	0,608 1	0,606 3	0,605 4	0,604 7	0,603 1	0,602 1	0,601 2	0,600 9	0,600 6
0,48	–	0,616 2	0,611 2	0,609 1	0,607 2	0,606 3	0,605 5	0,603 7	0,602 6	0,601 7	0,601 3	0,600 9
0,50	–	–	0,612 5	0,610 3	0,608 2	0,607 2	0,606 3	0,604 4	0,603 2	0,602 1	0,601 6	0,601 2
0,51	–	–	0,613 1	0,610 8	0,608 7	0,607 6	0,606 7	0,604 7	0,603 4	0,602 3	0,601 8	0,601 3
0,52	–	–	0,613 8	0,611 4	0,609 2	0,608 1	0,607 1	0,605 0	0,603 7	0,602 4	0,601 9	0,601 4
0,53	–	–	0,614 5	0,612 0	0,609 7	0,608 5	0,607 5	0,605 3	0,603 9	0,602 6	0,602 1	0,601 5
0,54	–	–	0,615 2	0,612 6	0,610 2	0,608 9	0,607 9	0,605 6	0,604 1	0,602 8	0,602 2	0,601 6
0,55	–	–	0,615 9	0,613 2	0,610 7	0,609 4	0,608 3	0,605 9	0,604 4	0,602 9	0,602 3	0,601 7
0,56	–	–	0,616 6	0,613 8	0,611 2	0,609 8	0,608 6	0,606 1	0,604 5	0,603 0	0,602 3	0,601 7
0,57	–	–	0,617 3	0,614 4	0,611 6	0,610 2	0,609 0	0,606 4	0,604 7	0,603 1	0,602 4	0,601 7
0,58	–	–	0,618 0	0,615 0	0,612 1	0,610 6	0,609 3	0,606 6	0,604 9	0,603 2	0,602 4	0,601 7
0,59	–	–	0,618 7	0,615 5	0,612 5	0,611 0	0,609 7	0,606 8	0,605 0	0,603 2	0,602 4	0,601 6
0,60	–	–	0,619 4	0,616 1	0,613 0	0,611 4	0,610 0	0,607 0	0,605 1	0,603 2	0,602 3	0,601 5
0,61	–	–	0,620 1	0,616 6	0,613 4	0,611 7	0,610 3	0,607 1	0,605 1	0,603 1	0,602 3	0,601 4
0,62	–	–	0,620 7	0,617 1	0,613 8	0,612 0	0,610 5	0,607 2	0,605 1	0,603 1	0,602 1	0,601 2
0,63	–	–	0,621 4	0,617 6	0,614 1	0,612 3	0,610 7	0,607 3	0,605 1	0,602 9	0,601 9	0,601 0
0,64	–	–	0,622 0	0,618 1	0,614 4	0,612 5	0,610 9	0,607 3	0,605 0	0,602 7	0,601 7	0,600 6
0,65	–	–	0,622 6	0,618 5	0,614 7	0,612 7	0,611 0	0,607 3	0,604 8	0,602 4	0,601 3	0,600 3
0,66	–	–	0,623 1	0,618 9	0,614 9	0,612 8	0,611 0	0,607 2	0,604 6	0,602 1	0,600 9	0,599 8
0,67	–	–	0,623 6	0,619 2	0,615 0	0,612 9	0,611 0	0,607 0	0,604 3	0,601 7	0,600 4	0,599 3
0,68	–	–	0,624 0	0,619 4	0,615 1	0,612 9	0,610 9	0,606 7	0,603 9	0,601 2	0,599 9	0,598 6
0,69	–	–	–	0,619 6	0,615 1	0,612 8	0,610 7	0,606 4	0,603 5	0,600 5	0,599 2	0,597 9
0,70	–	–	–	0,619 7	0,615 0	0,612 6	0,610 5	0,605 9	0,602 9	0,599 8	0,598 4	0,597 0
0,71	–	–	–	0,619 7	0,614 8	0,612 3	0,610 1	0,605 4	0,602 2	0,599 0	0,597 5	0,596 1
0,72	–	–	–	0,619 6	0,614 5	0,611 9	0,609 6	0,604 7	0,601 4	0,598 0	0,596 5	0,595 0
0,73	–	–	–	0,619 4	0,614 1	0,611 4	0,609 0	0,603 9	0,600 4	0,596 9	0,595 3	0,593 7
0,74	–	–	–	0,619 1	0,613 6	0,610 8	0,608 3	0,602 9	0,599 4	0,595 7	0,594 0	0,592 3
0,75	–	–	–	0,618 7	0,613 0	0,610 0	0,607 4	0,601 8	0,598 1	0,594 3	0,592 5	0,590 8

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.9
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 375$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 6	0,598 9	0,597 9	0,597 5	0,597 1	0,597 0	0,596 8	0,596 5	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,12	0,601 3	0,599 4	0,598 2	0,597 8	0,597 4	0,597 2	0,597 0	0,596 7	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,14	0,602 0	0,599 9	0,598 6	0,598 1	0,597 6	0,597 4	0,597 2	0,596 8	0,596 6	0,596 5	0,596 5	0,596 5
0,16	0,602 7	0,600 4	0,599 0	0,598 4	0,597 9	0,597 6	0,597 4	0,597 0	0,596 8	0,596 7	0,596 6	0,596 6
0,18	0,603 5	0,600 9	0,599 4	0,598 7	0,598 2	0,597 9	0,597 7	0,597 2	0,597 0	0,596 8	0,596 8	0,596 8
0,20	0,604 2	0,601 5	0,599 8	0,599 1	0,598 5	0,598 2	0,597 9	0,597 4	0,597 2	0,597 0	0,597 0	0,596 9
0,22	0,605 1	0,602 1	0,600 3	0,599 5	0,598 8	0,598 5	0,598 2	0,597 7	0,597 4	0,597 2	0,597 2	0,597 1
0,24	0,606 0	0,602 8	0,600 8	0,600 0	0,599 2	0,598 9	0,598 6	0,598 0	0,597 7	0,597 4	0,597 4	0,597 3
0,26	0,606 9	0,603 5	0,601 3	0,600 5	0,599 7	0,599 3	0,598 9	0,598 3	0,597 9	0,597 7	0,597 6	0,597 6
0,28	0,608 0	0,604 2	0,601 9	0,601 0	0,600 1	0,599 7	0,599 3	0,598 6	0,598 3	0,598 0	0,597 9	0,597 8
0,30	–	0,605 1	0,602 6	0,601 6	0,600 6	0,600 2	0,599 8	0,599 0	0,598 6	0,598 3	0,598 2	0,598 1
0,32	–	0,606 0	0,603 3	0,602 2	0,601 2	0,600 7	0,600 3	0,599 4	0,599 0	0,598 6	0,598 5	0,598 4
0,34	–	0,606 9	0,604 0	0,602 9	0,601 8	0,601 3	0,600 8	0,599 9	0,599 4	0,598 9	0,598 8	0,598 7
0,36	–	0,608 0	0,604 9	0,603 6	0,602 4	0,601 9	0,601 4	0,600 4	0,599 8	0,599 3	0,599 1	0,599 0
0,38	–	0,609 1	0,605 8	0,604 4	0,603 1	0,602 5	0,602 0	0,600 9	0,600 2	0,599 7	0,599 5	0,599 3
0,40	–	–	0,606 7	0,605 3	0,603 9	0,603 2	0,602 6	0,601 4	0,600 7	0,600 1	0,599 9	0,599 7
0,42	–	–	0,607 8	0,606 2	0,604 7	0,603 9	0,603 3	0,602 0	0,601 2	0,600 5	0,600 2	0,600 0
0,44	–	–	0,608 9	0,607 1	0,605 5	0,604 7	0,604 0	0,602 6	0,601 7	0,600 9	0,600 6	0,600 3
0,46	–	–	0,610 0	0,608 2	0,606 4	0,605 5	0,604 8	0,603 2	0,602 2	0,601 3	0,601 0	0,600 7
0,48	–	–	0,611 3	0,609 2	0,607 3	0,606 4	0,605 5	0,603 8	0,602 7	0,601 8	0,601 3	0,601 0
0,50	–	–	0,612 5	0,610 3	0,608 3	0,607 2	0,606 3	0,604 4	0,603 2	0,602 1	0,601 7	0,601 2
0,51	–	–	0,613 2	0,610 9	0,608 8	0,607 7	0,606 7	0,604 7	0,603 5	0,602 3	0,601 8	0,601 4
0,52	–	–	0,613 9	0,611 5	0,609 2	0,608 1	0,607 1	0,605 0	0,603 7	0,602 5	0,601 9	0,601 5
0,53	–	–	0,614 5	0,612 1	0,609 7	0,608 5	0,607 5	0,605 3	0,603 9	0,602 6	0,602 1	0,601 5
0,54	–	–	0,615 2	0,612 6	0,610 2	0,609 0	0,607 9	0,605 6	0,604 1	0,602 8	0,602 2	0,601 6
0,55	–	–	0,615 9	0,613 2	0,610 7	0,609 4	0,608 2	0,605 8	0,604 3	0,602 9	0,602 2	0,601 7
0,56	–	–	0,616 6	0,613 8	0,611 1	0,609 8	0,608 6	0,606 1	0,604 5	0,603 0	0,602 3	0,601 7
0,57	–	–	–	0,614 4	0,611 6	0,610 2	0,608 9	0,606 3	0,604 7	0,603 0	0,602 3	0,601 7
0,58	–	–	–	0,614 9	0,612 0	0,610 6	0,609 3	0,606 5	0,604 8	0,603 1	0,602 3	0,601 6
0,59	–	–	–	0,615 5	0,612 4	0,610 9	0,609 6	0,606 7	0,604 9	0,603 1	0,602 3	0,601 5
0,60	–	–	–	0,616 0	0,612 8	0,611 2	0,609 8	0,606 9	0,604 9	0,603 0	0,602 2	0,601 4
0,61	–	–	–	0,616 5	0,613 2	0,611 6	0,610 1	0,607 0	0,605 0	0,603 0	0,602 1	0,601 2
0,62	–	–	–	0,617 0	0,613 6	0,611 8	0,610 3	0,607 0	0,604 9	0,602 8	0,601 9	0,601 0
0,63	–	–	–	0,617 4	0,613 9	0,612 1	0,610 5	0,607 1	0,604 8	0,602 6	0,601 7	0,600 7
0,64	–	–	–	0,617 8	0,614 1	0,612 2	0,610 6	0,607 0	0,604 7	0,602 4	0,601 4	0,600 3
0,65	–	–	–	0,618 2	0,614 3	0,612 4	0,610 6	0,606 9	0,604 5	0,602 1	0,601 0	0,599 9
0,66	–	–	–	0,618 5	0,614 5	0,612 4	0,610 6	0,606 8	0,604 2	0,601 7	0,600 5	0,599 4
0,67	–	–	–	0,618 8	0,614 6	0,612 4	0,610 6	0,606 5	0,603 9	0,601 2	0,600 0	0,598 8
0,68	–	–	–	0,619 0	0,614 6	0,612 4	0,610 4	0,606 2	0,603 4	0,600 6	0,599 3	0,598 1
0,69	–	–	–	–	0,614 5	0,612 2	0,610 2	0,605 8	0,602 9	0,600 0	0,598 6	0,597 3
0,70	–	–	–	–	0,614 4	0,612 0	0,609 8	0,605 3	0,602 2	0,599 2	0,597 7	0,596 4
0,71	–	–	–	–	0,614 1	0,611 6	0,609 4	0,604 6	0,601 5	0,598 2	0,596 8	0,595 3
0,72	–	–	–	–	0,613 8	0,611 1	0,608 8	0,603 9	0,600 6	0,597 2	0,595 6	0,594 1
0,73	–	–	–	–	0,613 3	0,610 5	0,608 1	0,602 9	0,599 5	0,596 0	0,594 4	0,592 8
0,74	–	–	–	–	0,612 6	0,609 8	0,607 3	0,601 9	0,598 3	0,594 6	0,592 9	0,591 3
0,75	–	–	–	–	0,611 9	0,608 9	0,606 3	0,600 7	0,596 9	0,593 1	0,591 3	0,589 6

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.10
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 760$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 6	0,599 0	0,597 9	0,597 5	0,597 2	0,597 0	0,596 9	0,596 6	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,12	0,601 3	0,599 4	0,598 3	0,597 8	0,597 4	0,597 2	0,597 0	0,596 7	0,596 5	0,596 4	0,596 4	0,596 4
0,14	0,602 0	0,599 9	0,598 6	0,598 1	0,597 7	0,597 4	0,597 2	0,596 9	0,596 7	0,596 6	0,596 6	0,596 5
0,16	0,602 8	0,600 5	0,599 0	0,598 5	0,597 9	0,597 7	0,597 5	0,597 1	0,596 9	0,596 7	0,596 7	0,596 7
0,18	0,603 5	0,601 0	0,599 4	0,598 8	0,598 2	0,598 0	0,597 7	0,597 3	0,597 0	0,596 9	0,596 9	0,596 8
0,20	–	0,601 6	0,599 9	0,599 2	0,598 6	0,598 3	0,598 0	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,597 1	0,597 0
0,22	–	0,602 2	0,600 4	0,599 6	0,598 9	0,598 6	0,598 3	0,597 8	0,597 5	0,597 3	0,597 3	0,597 2
0,24	–	0,602 9	0,600 9	0,600 1	0,599 3	0,599 0	0,598 7	0,598 1	0,597 8	0,597 6	0,597 5	0,597 5
0,26	–	0,603 6	0,601 4	0,600 6	0,599 8	0,599 4	0,599 1	0,598 4	0,598 1	0,597 8	0,597 7	0,597 7
0,28	–	–	0,602 0	0,601 1	0,600 3	0,599 8	0,599 5	0,598 8	0,598 4	0,598 1	0,598 0	0,598 0
0,30	–	–	0,602 7	0,601 7	0,600 8	0,600 3	0,599 9	0,599 2	0,598 7	0,598 4	0,598 3	0,598 2
0,32	–	–	0,603 4	0,602 3	0,601 3	0,600 8	0,600 4	0,599 6	0,599 1	0,598 7	0,598 6	0,598 5
0,34	–	–	0,604 2	0,603 0	0,602 0	0,601 4	0,601 0	0,600 0	0,599 5	0,599 1	0,599 0	0,598 8
0,36	–	–	0,605 0	0,603 8	0,602 6	0,602 0	0,601 5	0,600 5	0,599 9	0,599 5	0,599 3	0,599 2
0,38	–	–	0,605 9	0,604 6	0,603 3	0,602 7	0,602 1	0,601 0	0,600 4	0,599 9	0,599 7	0,599 5
0,40	–	–	–	0,605 4	0,604 1	0,603 4	0,602 8	0,601 6	0,600 9	0,600 3	0,600 0	0,599 8
0,42	–	–	–	0,606 4	0,604 9	0,604 1	0,603 5	0,602 2	0,601 4	0,600 7	0,600 4	0,600 2
0,44	–	–	–	0,607 3	0,605 7	0,604 9	0,604 2	0,602 7	0,601 9	0,601 1	0,600 8	0,600 5
0,46	–	–	–	0,608 4	0,606 6	0,605 7	0,604 9	0,603 4	0,602 4	0,601 5	0,601 2	0,600 8
0,48	–	–	–	0,609 4	0,607 5	0,606 5	0,605 7	0,604 0	0,602 9	0,601 9	0,601 5	0,601 1
0,50	–	–	–	–	0,608 4	0,607 4	0,606 5	0,604 6	0,603 4	0,602 3	0,601 8	0,601 4
0,51	–	–	–	–	0,608 9	0,607 8	0,606 9	0,604 9	0,603 6	0,602 5	0,602 0	0,601 5
0,52	–	–	–	–	0,609 4	0,608 2	0,607 3	0,605 2	0,603 9	0,602 6	0,602 1	0,601 6
0,53	–	–	–	–	0,609 9	0,608 7	0,607 6	0,605 4	0,604 1	0,602 8	0,602 2	0,601 7
0,54	–	–	–	–	0,610 3	0,609 1	0,608 0	0,605 7	0,604 3	0,602 9	0,602 3	0,601 7
0,55	–	–	–	–	0,610 8	0,609 5	0,608 4	0,606 0	0,604 4	0,603 0	0,602 4	0,601 8
0,56	–	–	–	–	0,611 2	0,609 9	0,608 7	0,606 2	0,604 6	0,603 1	0,602 4	0,601 8
0,57	–	–	–	–	0,611 7	0,610 3	0,609 0	0,606 4	0,604 7	0,603 1	0,602 4	0,601 7
0,58	–	–	–	–	0,612 1	0,610 6	0,609 3	0,606 6	0,604 8	0,603 1	0,602 4	0,601 7
0,59	–	–	–	–	0,612 5	0,611 0	0,609 6	0,606 8	0,604 9	0,603 1	0,602 3	0,601 6
0,60	–	–	–	–	0,612 9	0,611 3	0,609 9	0,606 9	0,605 0	0,603 1	0,602 2	0,601 4
0,61	–	–	–	–	0,613 2	0,611 6	0,610 1	0,607 0	0,605 0	0,603 0	0,602 1	0,601 2
0,62	–	–	–	–	0,613 6	0,611 8	0,610 3	0,607 0	0,604 9	0,602 8	0,601 9	0,601 0
0,63	–	–	–	–	–	0,612 0	0,610 4	0,607 0	0,604 8	0,602 6	0,601 6	0,600 6
0,64	–	–	–	–	–	0,612 2	0,610 5	0,606 9	0,604 6	0,602 3	0,601 3	0,600 3
0,65	–	–	–	–	–	0,612 3	0,610 5	0,606 8	0,604 4	0,602 0	0,600 9	0,599 8
0,66	–	–	–	–	–	0,612 3	0,610 5	0,606 6	0,604 1	0,601 5	0,600 4	0,599 2
0,67	–	–	–	–	–	0,612 3	0,610 4	0,606 3	0,603 7	0,601 0	0,599 8	0,598 6
0,68	–	–	–	–	–	0,612 2	0,610 2	0,606 0	0,603 2	0,600 4	0,599 1	0,597 9
0,69	–	–	–	–	–	0,611 9	0,609 9	0,605 5	0,602 6	0,599 6	0,598 3	0,597 0
0,70	–	–	–	–	–	0,611 6	0,609 5	0,604 9	0,601 9	0,598 8	0,597 4	0,596 0
0,71	–	–	–	–	–	0,611 2	0,609 0	0,604 2	0,601 0	0,597 8	0,596 3	0,594 9
0,72	–	–	–	–	–	0,610 7	0,608 4	0,603 4	0,600 1	0,596 7	0,595 1	0,593 6
0,73	–	–	–	–	–	0,610 0	0,607 6	0,602 4	0,598 9	0,595 4	0,593 8	0,592 2
0,74	–	–	–	–	–	–	0,606 7	0,601 2	0,597 6	0,594 0	0,592 3	0,590 6
0,75	–	–	–	–	–	–	0,605 6	0,599 9	0,596 2	0,592 3	0,590 6	0,588 8

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se prevén para una interpolación precisa. No se permite la extrapolación.

Tabla A.11
Placa de orificio con tomas en las bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 1\ 000\ \text{mm}$

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_D , igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,10	0,600 6	0,599 0	0,598 0	0,597 6	0,597 2	0,597 0	0,596 9	0,596 6	0,596 4	0,596 3	0,596 3	0,596 3
0,12	0,601 3	0,599 4	0,598 3	0,597 8	0,597 4	0,597 2	0,597 0	0,596 7	0,596 6	0,596 5	0,596 4	0,596 4
0,14	0,602 0	0,599 9	0,598 7	0,598 1	0,597 7	0,597 4	0,597 3	0,596 9	0,596 7	0,596 6	0,596 6	0,596 6
0,16	0,602 8	0,600 5	0,599 0	0,598 5	0,598 0	0,597 7	0,597 5	0,597 1	0,596 9	0,596 7	0,596 7	0,596 7
0,18	–	0,601 0	0,599 5	0,598 8	0,598 3	0,598 0	0,597 7	0,597 3	0,597 1	0,596 9	0,596 9	0,596 9
0,20	–	0,601 6	0,599 9	0,599 2	0,598 6	0,598 3	0,598 0	0,597 5	0,597 3	0,597 1	0,597 1	0,597 1
0,22	–	0,602 2	0,600 4	0,599 6	0,599 0	0,598 6	0,598 4	0,597 8	0,597 5	0,597 3	0,597 3	0,597 3
0,24	–	0,602 9	0,600 9	0,600 1	0,599 4	0,599 0	0,598 7	0,598 1	0,597 8	0,597 6	0,597 5	0,597 5
0,26	–	–	0,601 5	0,600 6	0,599 8	0,599 4	0,599 1	0,598 4	0,598 1	0,597 9	0,597 8	0,597 7
0,28	–	–	0,602 1	0,601 2	0,600 3	0,599 9	0,599 5	0,598 8	0,598 4	0,598 1	0,598 1	0,598 0
0,30	–	–	0,602 7	0,601 7	0,600 8	0,600 4	0,600 0	0,599 2	0,598 8	0,598 5	0,598 3	0,598 3
0,32	–	–	0,603 5	0,602 4	0,601 4	0,600 9	0,600 5	0,599 6	0,599 2	0,598 8	0,598 7	0,598 6
0,34	–	–	0,604 3	0,603 1	0,602 0	0,601 5	0,601 0	0,600 1	0,599 6	0,599 1	0,599 0	0,598 9
0,36	–	–	–	0,603 8	0,602 7	0,602 1	0,601 6	0,600 6	0,600 0	0,599 5	0,599 4	0,599 2
0,38	–	–	–	0,604 6	0,603 4	0,602 7	0,602 2	0,601 1	0,600 5	0,599 9	0,599 7	0,599 5
0,40	–	–	–	0,605 5	0,604 1	0,603 4	0,602 8	0,601 6	0,600 9	0,600 3	0,600 1	0,599 9
0,42	–	–	–	0,606 4	0,604 9	0,604 2	0,603 5	0,602 2	0,601 4	0,600 7	0,600 5	0,600 2
0,44	–	–	–	–	0,605 8	0,605 0	0,604 3	0,602 8	0,601 9	0,601 2	0,600 9	0,600 6
0,46	–	–	–	–	0,606 7	0,605 8	0,605 0	0,603 4	0,602 4	0,601 6	0,601 2	0,600 9
0,48	–	–	–	–	0,607 6	0,606 6	0,605 8	0,604 0	0,603 0	0,602 0	0,601 6	0,601 2
0,50	–	–	–	–	0,608 5	0,607 5	0,606 5	0,604 6	0,603 5	0,602 4	0,601 9	0,601 5
0,51	–	–	–	–	0,609 0	0,607 9	0,606 9	0,604 9	0,603 7	0,602 5	0,602 0	0,601 6
0,52	–	–	–	–	0,609 5	0,608 3	0,607 3	0,605 2	0,603 9	0,602 7	0,602 2	0,601 7
0,53	–	–	–	–	0,609 9	0,608 7	0,607 7	0,605 5	0,604 1	0,602 8	0,602 3	0,601 7
0,54	–	–	–	–	0,610 4	0,609 1	0,608 1	0,605 8	0,604 3	0,603 0	0,602 4	0,601 8
0,55	–	–	–	–	–	0,609 6	0,608 4	0,606 0	0,604 5	0,603 1	0,602 4	0,601 8
0,56	–	–	–	–	–	0,609 9	0,608 8	0,606 3	0,604 7	0,603 1	0,602 5	0,601 8
0,57	–	–	–	–	–	0,610 3	0,609 1	0,606 5	0,604 8	0,603 2	0,602 5	0,601 8
0,58	–	–	–	–	–	0,610 7	0,609 4	0,606 7	0,604 9	0,603 2	0,602 4	0,601 7
0,59	–	–	–	–	–	0,611 0	0,609 7	0,606 8	0,605 0	0,603 2	0,602 4	0,601 6
0,60	–	–	–	–	–	0,611 3	0,609 9	0,606 9	0,605 0	0,603 1	0,602 3	0,601 5
0,61	–	–	–	–	–	0,611 6	0,610 2	0,607 0	0,605 0	0,603 0	0,602 1	0,601 3
0,62	–	–	–	–	–	0,611 9	0,610 3	0,607 1	0,604 9	0,602 9	0,601 9	0,601 0
0,63	–	–	–	–	–	0,612 1	0,610 5	0,607 0	0,604 8	0,602 6	0,601 6	0,600 7
0,64	–	–	–	–	–	0,612 2	0,610 6	0,607 0	0,604 7	0,602 3	0,601 3	0,600 3
0,65	–	–	–	–	–	–	0,610 6	0,606 8	0,604 4	0,602 0	0,600 9	0,599 8
0,66	–	–	–	–	–	–	0,610 5	0,606 6	0,604 1	0,601 6	0,600 4	0,599 3
0,67	–	–	–	–	–	–	0,610 4	0,606 3	0,603 7	0,601 0	0,599 8	0,598 6
0,68	–	–	–	–	–	–	0,610 2	0,606 0	0,603 2	0,600 4	0,599 1	0,597 9
0,69	–	–	–	–	–	–	0,609 9	0,605 5	0,602 6	0,599 7	0,598 3	0,597 0
0,70	–	–	–	–	–	–	0,609 5	0,604 9	0,601 9	0,598 8	0,597 4	0,596 0
0,71	–	–	–	–	–	–	0,609 0	0,604 2	0,601 0	0,597 8	0,596 3	0,594 9
0,72	–	–	–	–	–	–	0,608 4	0,603 3	0,600 0	0,596 7	0,595 1	0,593 6
0,73	–	–	–	–	–	–	0,607 6	0,602 4	0,598 9	0,595 4	0,593 8	0,592 2
0,74	–	–	–	–	–	–	0,606 6	0,601 2	0,597 6	0,593 9	0,592 2	0,590 6
0,75	–	–	–	–	–	–	0,605 5	0,599 9	0,596 1	0,592 3	0,590 5	0,588 7

NOTA – Esta tabla se proporciona por comodidad. Los valores dados no se preveen para una interpolación. precisa. No se permite la extrapolación.

Anexo III: Perfiles de velocidad y variables turbulentas para los diversos casos

Entradas para $D=100$ y $Re_D=30000$

En la figura 18 se puede observar el perfil de la velocidad U a la entrada de la una tubería de diámetro 100mm y un Re_D de 30000. En la figura 19 el perfil de la energía cinética turbulenta y en la figura 20 el perfil de disipación viscosa.

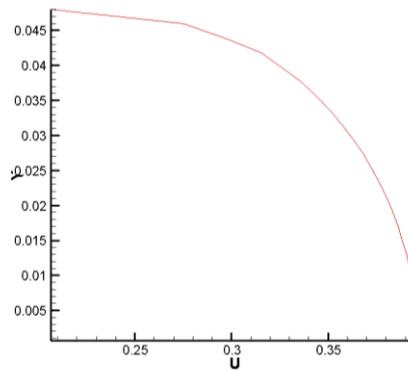


Figura 18: Perfil de velocidad u a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=30000$

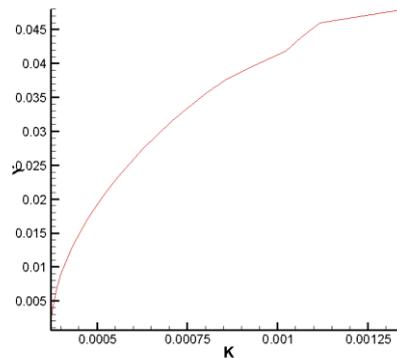


Ilustración 19: Perfil de la energía turbulenta a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=30000$

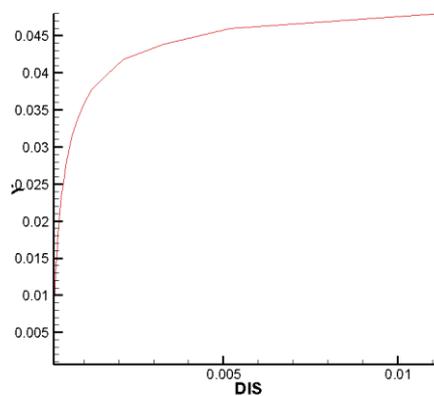


Ilustración 20: Perfil de la disipación viscosa a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=30000$

Entradas para $D=100$ y $Re_D=50000$

En la figura 21 se puede observar el perfil de la velocidad U a la entrada de la una tubería de diámetro 100mm y un Re_D de 50000. En la figura 22 el perfil de la energía cinética turbulenta y en la figura 23 el perfil de disipación viscosa.

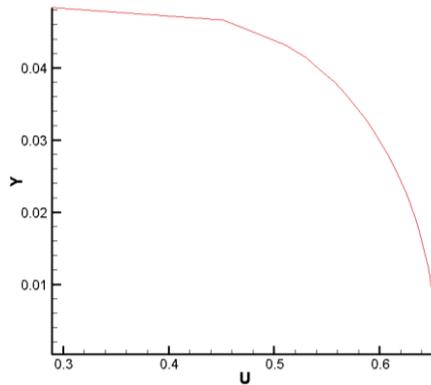


Figura 21: Perfil de velocidad u a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=50000$

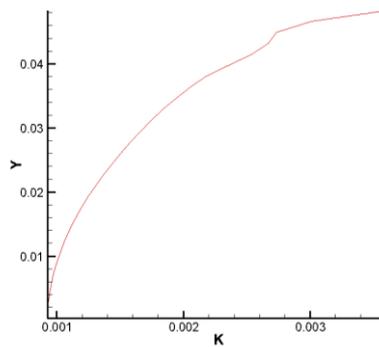


Figura 22: Perfil de la energía turbulenta a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=50000$

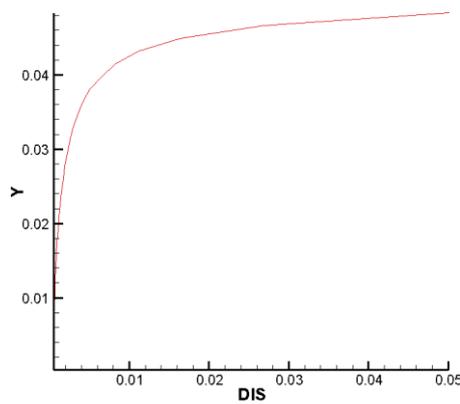


Figura 23: Perfil de la disipación viscosa a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=50000$

Entradas para $D=100$ y $Re_D=70000$

En la figura 24 se puede observar el perfil de la velocidad U a la entrada de la una tubería de diámetro 100mm y un Re_D de 70000. En la figura 25 el perfil de la energía cinética turbulenta y en la figura 26 el perfil de disipación viscosa.

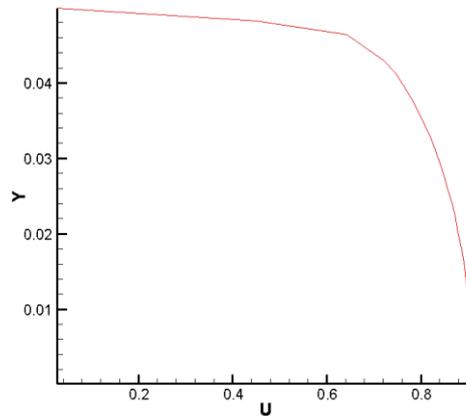


Figura 24: Perfil de velocidad u a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=70000$

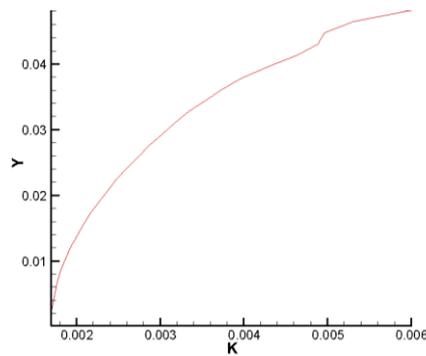


Figura 25: Perfil de la energía turbulenta a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=70000$

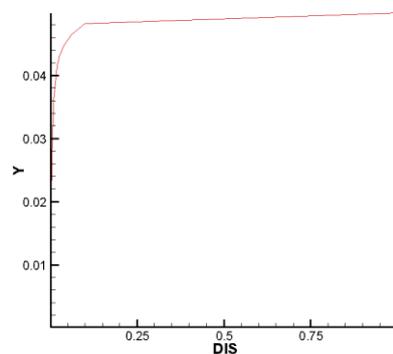


Ilustración 26: Perfil de la disipación viscosa a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=70000$

Entradas para $D=100$ y $Re_D=100000$

En la figura 27 se puede observar el perfil de la velocidad U a la entrada de la una tubería de diámetro 100mm y un Re_D de 100000. En la figura 28 el perfil de la energía cinética turbulenta y en la figura 29 el perfil de disipación viscosa.

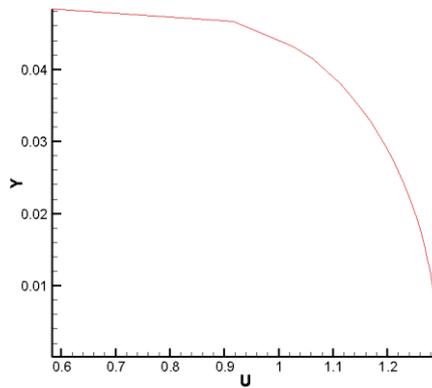


Ilustración 27: Perfil de velocidad u a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=100000$

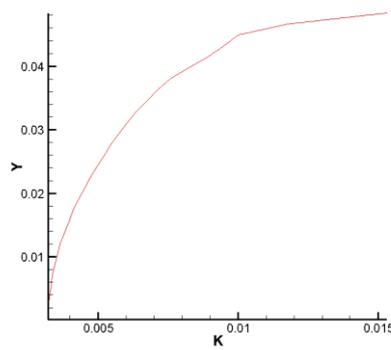


Figura 28: Perfil de la energía turbulenta a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=100000$

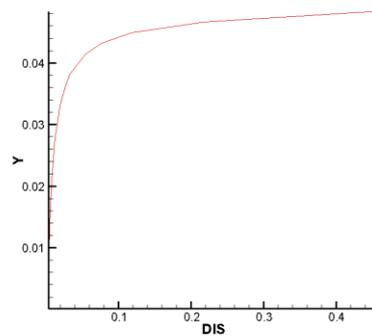


Figura29: Perfil de la disipación viscosa a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=100000$

Entradas para $D=100$ y $Re_D=300000$

En la figura 30 se puede observar el perfil de la velocidad U a la entrada de la una tubería de diámetro 100mm y un Re_D de 300000. En la figura 31 el perfil de la energía cinética turbulenta y en la figura 32 el perfil de disipación viscosa.

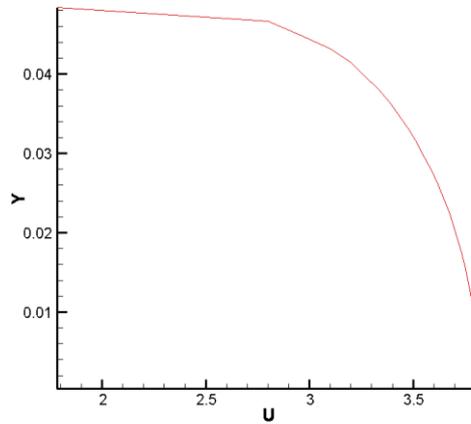


Figura30: Perfil de velocidad u a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=300000$

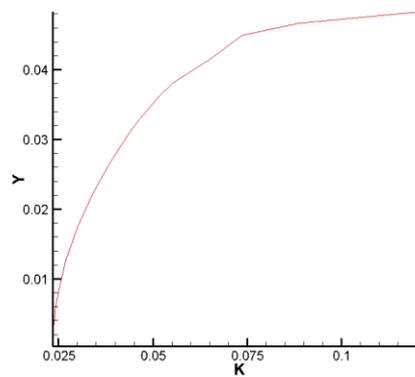


Figura 31: Perfil de la energía turbulenta a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=300000$

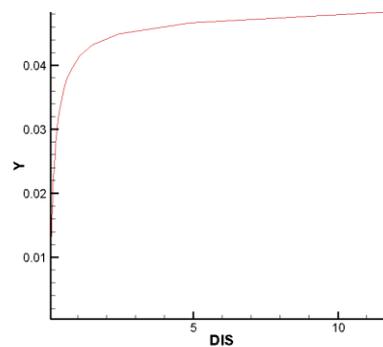


Figura 32: Perfil de la disipación viscosa a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=300000$

Entradas para $D=100$ y $Re_D=1000000$

En la figura 33 se puede observar el perfil de la velocidad U a la entrada de la una tubería de diámetro 100mm y un Re_D de 1000000. En la figura 34 el perfil de la energía cinética turbulenta y en la figura 35 el perfil de disipación viscosa.

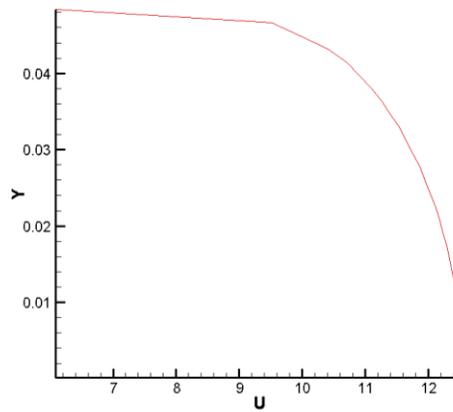


Figura 33: Perfil de velocidad u a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=1000000$

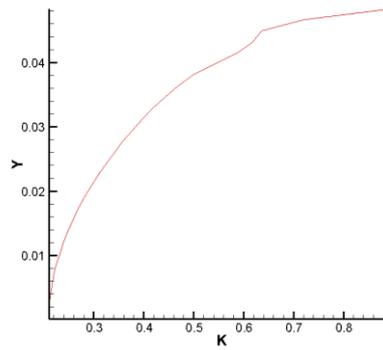


Figura 34: Perfil de la energía turbulenta a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=1000000$

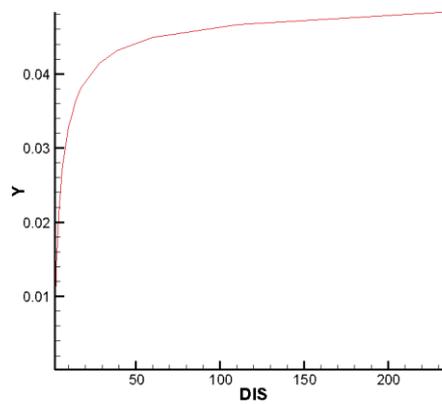


Ilustración 35: Perfil de la disipación viscosa a la entrada de la tubería con $D=100$ y con un $Re_D=1000000$

Anexo IV: Descripción de la geometría y comprobaciones respecto a la norma:

Caso 2:

$D=100\text{mm}$

$\beta=0,48$

$L_1=0,7\text{m}$

$L_2=1,1\text{m}$

$d=48$

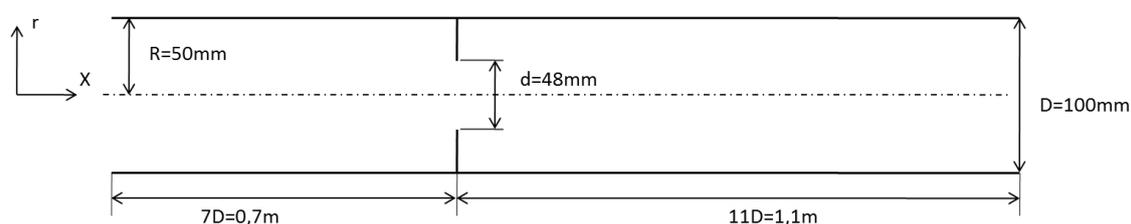


Figura 36: Tubería cilíndrica $D=100\text{m}$ con una placa de orificio $\beta=0.48$ a $7D$ del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	46,5	93	1	Uniforme
Zona 2	13,829	55	0,971	Contracción
Zona 3	40,4	404	1	Uniforme
Zona 4	20,35	80	1,0206	Expansión
Zona 5	60,339	120	1	Uniforme

Total	181,41	752
-------	--------	-----

Tabla 13 Mallado en X del caso 2

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	14,55	28	1	Uniforme
Zona 2	6,455	25	0,934	Contracción
Zona 3	6	60	1	Uniforme
Zona 4	7,04	25	1,0774	Expansión
Zona 5	15,96	27	1	Uniforme

Total	50	165
-------	----	-----

Tabla 14: Mallado en Y del caso 2

En la figura 37 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

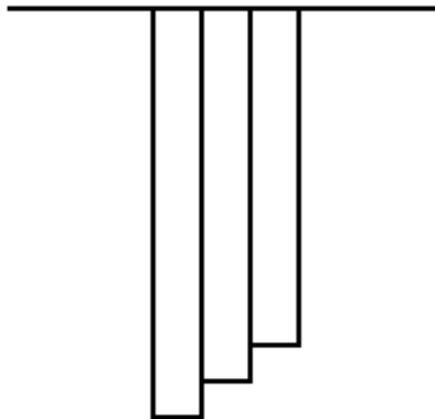


Figura 37: Discretización en 3 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 1mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 1 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 26mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	249	84	249	165
Bloqueo 2	250	94	250	165
Bloqueo 3	251	104	251	165

Tabla 15: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 3 bloques D=100mm $\beta=0.48$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=1\text{mm}$

$E=3\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=0.5\text{mm}$ y $0,02D=2\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=5\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=48\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=100\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.48$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.48$ el Re_D debe ser mayor a 5000, el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Caso 3:

D=100mm

$\beta=0,48$

$L_1=0,5m$

$L_2=0,13m$

d=48

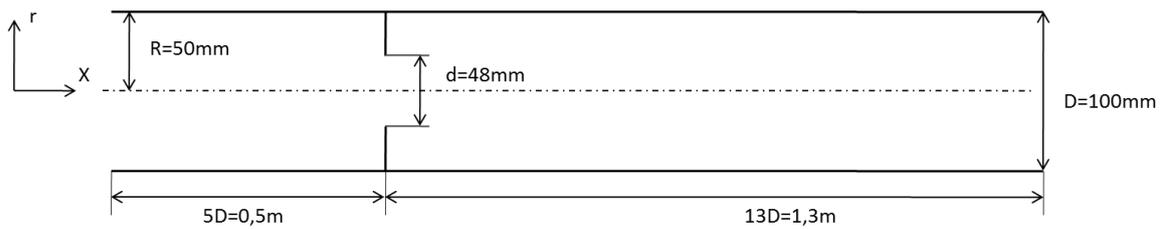


Figura 38: Tubería cilíndrica D=100mm con una placa de orificio $\beta=0.48$ a 5D del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	26.5	53	1	Uniforme
Zona 2	13,829	55	0,971	Contracción
Zona 3	40,4	404	1	Uniforme
Zona 4	20,35	80	1,0206	Expansión
Zona 5	80,339	160	1	Uniforme

Total	183,7	752
-------	-------	-----

Tabla 16: Mallado en X del caso 3

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	14,55	28	1	Uniforme
Zona 2	6,455	25	0,934	Contracción
Zona 3	6	60	1	Uniforme
Zona 4	7,04	25	1,0774	Expansión
Zona 5	15,96	27	1	Uniforme

Total	50	165
-------	----	-----

Tabla 17: Mallado en Y del caso 3

En la figura 39 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

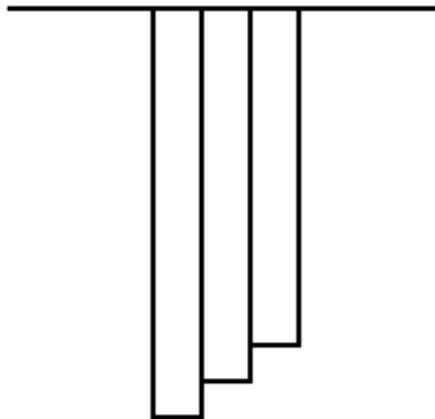


Figura 39: Discretización en 3 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 1mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 1 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 26mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	209	84	209	165
Bloqueo 2	210	94	210	165
Bloqueo 3	211	104	211	165

Tabla 18: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 3 bloques D=100mm $\beta=0.48$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=1\text{mm}$

$E=3\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=0.5\text{mm}$ y $0,02D=2\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=5\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=48\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=100\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.48$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.48$ el Re_D debe ser mayor a 5000, el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Caso 4:

D=100mm

$\beta=0,48$

$L_1=0,7m$

$L_2=0,11m$

d=48

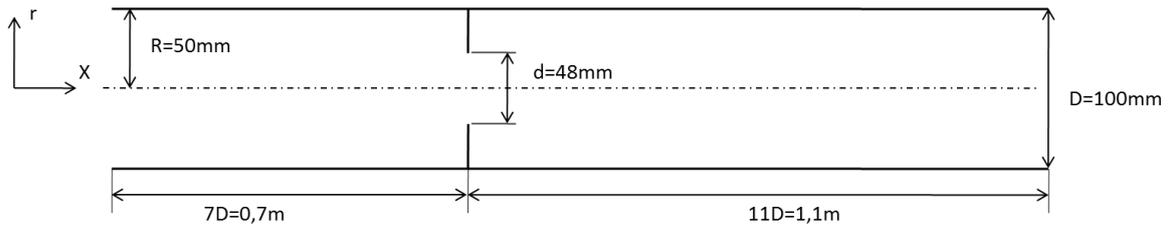


Figura 40: Tubería de D=100mm con una placa de orificio $\beta=0.48$ a 7D del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	46.5	93	1	Uniforme
Zona 2	13,829	55	0,971	Contracción
Zona 3	40,4	404	1	Uniforme
Zona 4	20,35	80	1,0206	Expansión
Zona 5	60,339	120	1	Uniforme

Total	183,05	752
-------	--------	-----

Tabla 19 Mallado en X del caso 2

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	15,55	27	1	Uniforme
Zona 2	6,455	25	0,934	Contracción
Zona 3	6	60	1	Uniforme
Zona 4	7,04	25	1,0774	Expansión
Zona 5	14,96	28	1	Uniforme

Total	50	165
-------	----	-----

Tabla 20: Mallado en Y del caso 2

En la figura 41 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

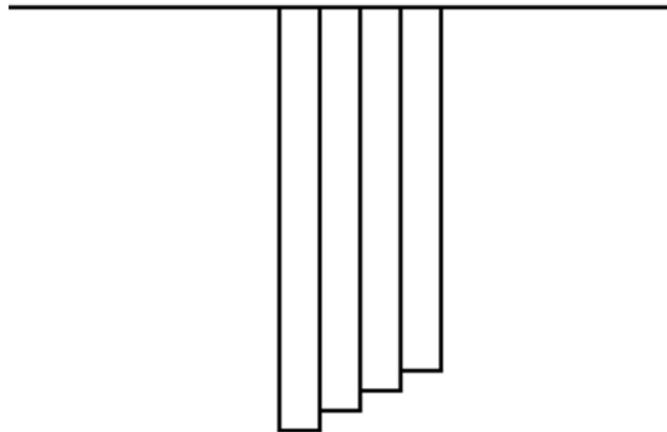


Figura 41: Discretización en 4 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 1mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 1 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 26mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	249	73	249	165
Bloqueo 2	250	83	250	165
Bloqueo 3	251	93	251	165
Bloqueo 4	252	103	252	165

Tabla 21: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 4 bloqueos $D=100\text{mm}$
 $\beta=0.48$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=1\text{mm}$

$E=4\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=0.5\text{mm}$ y $0,02D=2\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=5\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=48\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=100\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.48$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.48$ el Re_D debe ser mayor a 5000, el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Caso 5:

D=100mm

$\beta=0,6$

$L_1=0,7m$

$L_2=0,11m$

d=60

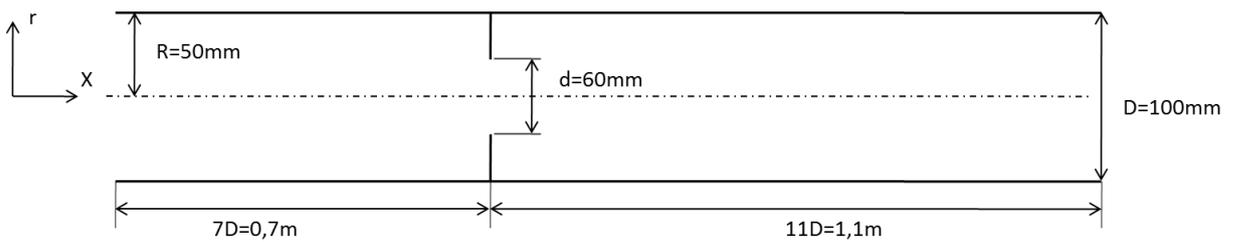


Figura 42: Tubería cilíndrica D=100m con una placa de orificio $\beta=0.60$ a 7D del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	46.5	93	1	Uniforme
Zona 2	13,829	55	0,971	Contracción
Zona 3	40,4	404	1	Uniforme
Zona 4	20,35	80	1,0206	Expansión
Zona 5	60,339	120	1	Uniforme

Total	183,05	752
-------	--------	-----

Tabla 22 Mallado en X del caso 2

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	20,55	36	1	Uniforme
Zona 2	6,455	25	0,934	Contracción
Zona 3	6	60	1	Uniforme
Zona 4	7,04	25	1,0774	Expansión
Zona 5	9,96	19	1	Uniforme

Total	50	165
-------	----	-----

Tabla 23: Mallado en Y del caso 2

En la figura 43 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

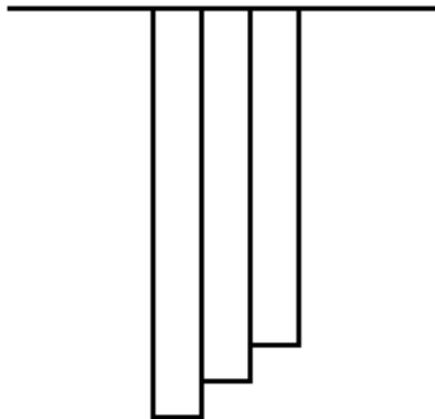


Figura 43: Discretización en 3 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 1mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 1 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 20mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	249	92	249	165
Bloqueo 2	250	102	250	165
Bloqueo 3	251	112	251	165

Tabla 24: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 3 bloques D=100mm $\beta=0.60$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=1\text{mm}$

$E=3\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=0.5\text{mm}$ y $0,02D=2\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=5\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=60\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=100\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.60$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.60$ el Re_D debe ser mayor a $16000 \times \beta^2 = 5760$

el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Caso 6:

D=200mm

$\beta=0,48$

$L_1=1,4m$

$L_2=2,2m$

d=96

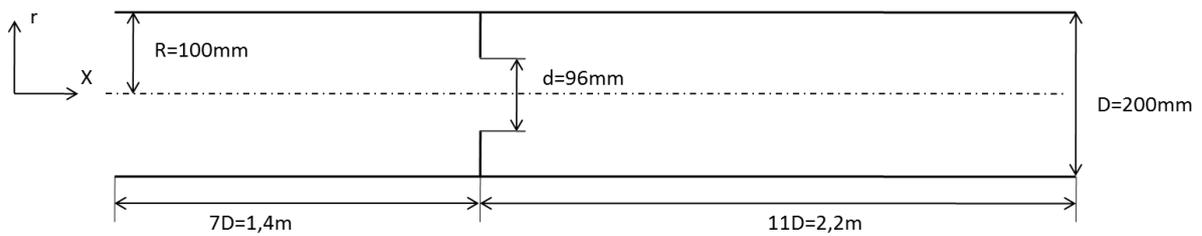


Figura 44: Tubería cilíndrica D=200mm con una placa de orificio $\beta=0.48$ a 7D del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	93	93	1	Uniforme
Zona 2	27,65	55	0,971	Contracción
Zona 3	80,8	404	1	Uniforme
Zona 4	40,7	80	1,0206	Expansión
Zona 5	123,95	120	1	Uniforme

Total	366,09	752
-------	--------	-----

Tabla 25 Mallado en X del caso 2

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	29,16	28	1	Uniforme
Zona 2	12,84	25	0,934	Contracción
Zona 3	12	60	1	Uniforme
Zona 4	14,08	25	1,0774	Expansión
Zona 5	31,92	27	1	Uniforme

Total	100	165
-------	-----	-----

Tabla 26: Mallado en Y del caso 2

En la figura 45 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

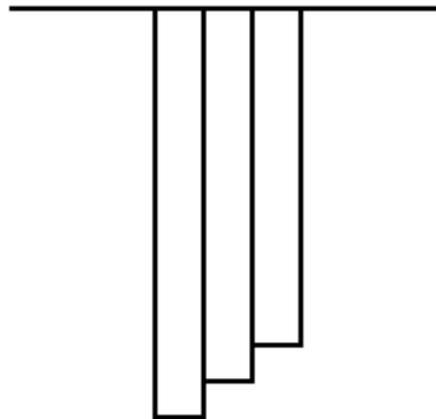


Figura 45: Discretización en 3 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 2mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 2 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 52mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	249	84	249	165
Bloqueo 2	250	94	250	165
Bloqueo 3	251	104	251	165

Tabla 27: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 3 bloques D=200mm $\beta=0.48$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=2\text{mm}$

$E=6\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=1\text{mm}$ y $0,02D=4\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=10\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=96\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=200\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.48$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.48$ el Re_D debe ser mayor a 5000, el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Caso 7:

D=200mm

$\beta=0,48$

$L_1=1,4m$

$L_2=2,2m$

d=96

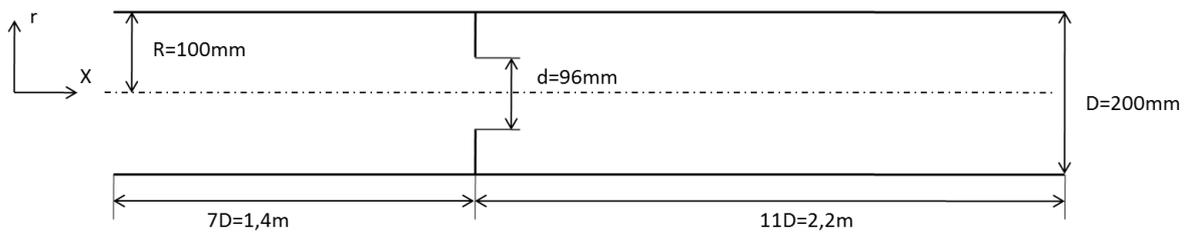


Figura 46: Tubería cilíndrica D=200mm con una placa de orificio $\beta=0.48$ a 7D del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	93	93	1	Uniforme
Zona 2	27,65	55	0,971	Contracción
Zona 3	80,8	404	1	Uniforme
Zona 4	40,7	80	1,0206	Expansión
Zona 5	123,95	120	1	Uniforme

Total	366,09	752
-------	--------	-----

Tabla 28 Mallado en X del caso 2

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	31,15	28	1	Uniforme
Zona 2	12,84	25	0,934	Contracción
Zona 3	12	60	1	Uniforme
Zona 4	14,08	25	1,0774	Expansión
Zona 5	29,92	27	1	Uniforme

Total	100	165
-------	-----	-----

Tabla 29: Mallado en Y del caso 2

En la figura 47 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

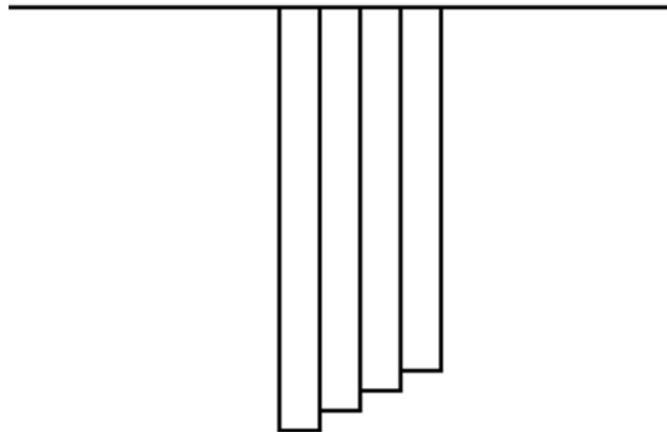


Figura 47: Discretización en 4 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 2mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 2 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 52mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	249	73	249	165
Bloqueo 2	250	83	250	165
Bloqueo 3	251	93	251	165
Bloqueo 4	252	103	252	165

Tabla 30: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 4 bloqueos $D=200\text{mm}$
 $\beta=0.48$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=2\text{mm}$

$E=8\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=1\text{mm}$ y $0,02D=4\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=10\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=96\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=200\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.48$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.48$ el Re_D debe ser mayor a 5000, el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Caso 8:

D=200mm

$\beta=0,6$

$L_1=1,4m$

$L_2=2,2m$

d=120

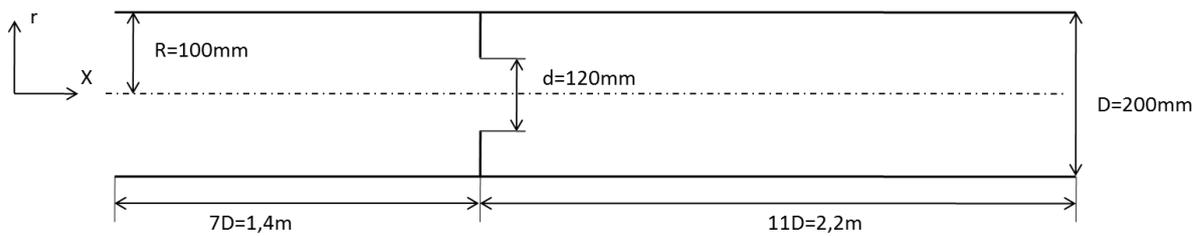


Figura 48: Tubería cilíndrica D=200mm con una placa de orificio $\beta=0.60$ a 7D del origen

Con estos datos de geometría definimos 5 zonas de mallado en X y 5 zonas de mallado en Y.

Mallado en X:

	Tamaño cm	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	93	93	1	Uniforme
Zona 2	27,65	55	0,971	Contracción
Zona 3	80,8	404	1	Uniforme
Zona 4	40,7	80	1,0206	Expansión
Zona 5	123,95	120	1	Uniforme

Total	366,09	752
-------	--------	-----

Tabla 31 Mallado en X del caso 2

Y el mallado en Y

	Tamaño (cm)	Volúmenes	Ratio	Comportamiento
Zona 1	41,16	37	1	Uniforme
Zona 2	12,84	25	0,934	Contracción
Zona 3	12	60	1	Uniforme
Zona 4	14,08	25	1,0774	Expansión
Zona 5	19,92	18	1	Uniforme

Total	100	165
-------	-----	-----

Tabla 32: Mallado en Y del caso 2

En la figura 49 se puede observar la aproximación de la placa de orificio para el modelo computacional.

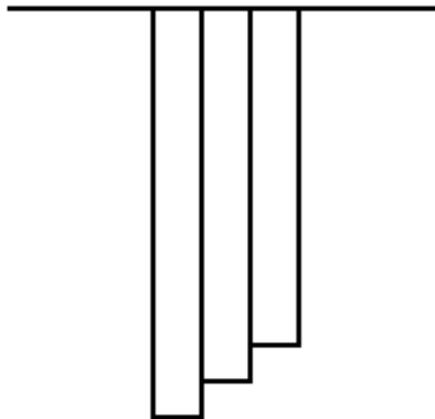


Figura 49: Discretización en 3 bloques de la placa de orificio para computación

Bloqueos:

- Tienen un espesor de 2mm (1 volumen en x)
- Una diferencia de alturas entre bloqueos de 2 mm (10 volúmenes en y)
- El primer bloqueo tiene una longitud de 52mm desde la pared del cilindro.

	Nodo inicial		Nodo final	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Bloqueo 1	249	93	249	165
Bloqueo 2	250	103	250	165
Bloqueo 3	251	113	251	165

Tabla 33: Definición de los bloqueos que conforman una placa orificio en el caso de usar 3 bloqueos D=200mm $\beta=0.60$

Por lo que los parámetros de la placa orificio nos quedan:

$e=2\text{mm}$

$E=6\text{mm}$

$\alpha=45^\circ$

Si se comprueban estos valores con las condiciones límite:

e pertenece al intervalo entre $0,005D=1\text{mm}$ y $0,02D=4\text{mm}$

E pertenece al intervalo entre $0,05D=10\text{mm}$ y e

α pertenece al intervalo entre 30° y 60°

Hay que corroborar el cumplimiento de los límites de empleo para placas de orificio:

$d=120\text{mm} > 12,5\text{mm}$ OK

$D=200\text{mm}$ pertenece al intervalo entre 50mm y 1000mm OK

$\beta=0.60$ pertenece al intervalo entre 0.1 y 0.75 OK

Al ser la $\beta=0.60$ el Re_D debe ser mayor a $16000 \times \beta^2 = 5760$

el menor Re_D a estudiar son 30000 OK

Anexo V: Tabla comparativa de los distintos casos

	D (mm)	β	Nº Bloqueos	L ₁
Caso 1	100	0,48	3	12D
Caso 2	100	0,48	3	7D
Caso 3	100	0,48	3	5D
Caso 4	100	0,48	4	7D
Caso 5	100	0,6	3	7D
Caso 6	200	0,48	3	7D
Caso 7	200	0,48	4	7D
Caso 8	200	0.6	3	7D

Tabla 34: Datos clave de los casos

Anexo VI: Diagrama de Moody

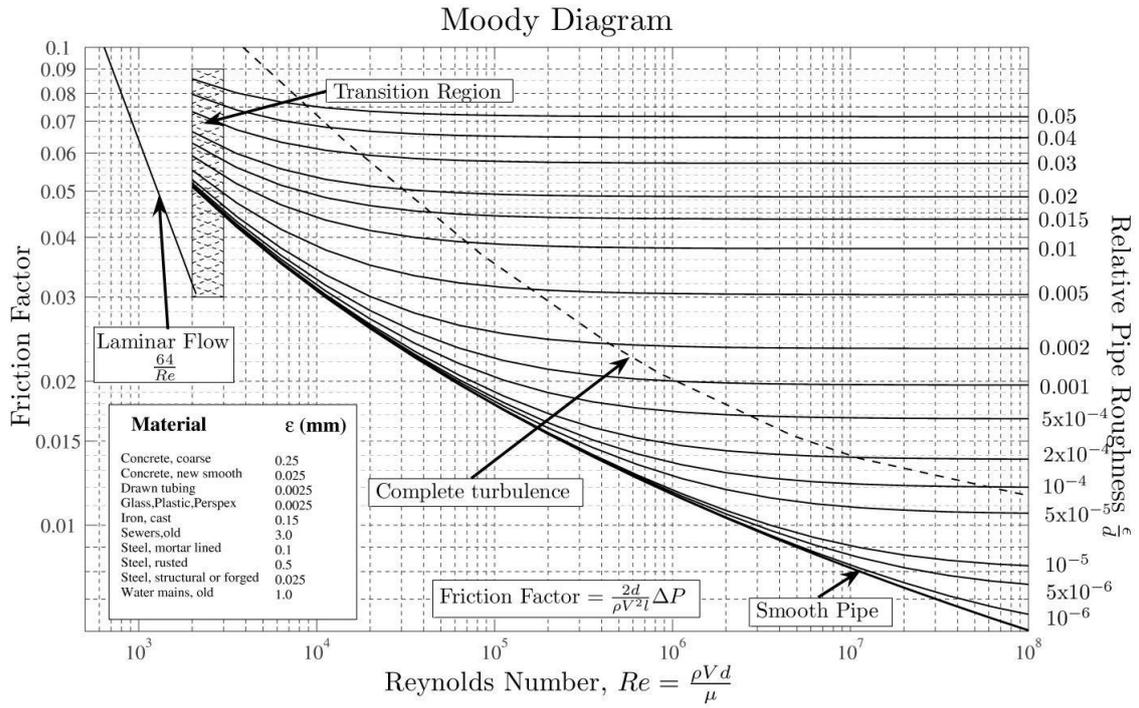


Figura 50: Diagrama de Moody

Anexo VII: Nomenclatura utilizada

C: coeficiente de descarga.

E: espesor de la placa orificio

e: espesor del orificio de la placa orificio

α : ángulo de bisel de la placa orificio

D: diámetro de la tubería

R: radio de la tubería

d: diámetro interior de la placa orificio

β : relación de diámetros d/D

Re_D : es el número de Reynolds, calculado respecto a D

L_1 : distancia desde el origen hasta la cara aguas arriba de la placa orificio

L_2 : distancia desde la cara aguas debajo de la placa orificio con el final del dominio

l_1 distancia desde la placa orificio hasta la toma de presión aguas arriba

l_2 distancia desde la placa orificio hasta la toma de presión aguas abajo

ϵ : factor de expansibilidad

ρ : densidad del fluido

μ : viscosidad dinámica del fluido de trabajo.

A: área

V_m : velocidad media del fluido

V_{max} : velocidad máxima del fluido

f: factor de pérdidas de carga (velocidad) asociado a la rugosidad de una tubería

U: velocidad en la dirección X

V: velocidad en la dirección Y

P: Presión

K: energía cinética turbulenta

DIS: disipación viscosa

c.c: condiciones de contorno

μ_t : Viscosidad turbulenta

$C_\mu, C_{\varepsilon_1}, C_{\varepsilon_2}$: Constantes del modelo turbulento

σ_k : Número de Prandtl asociado a k

σ_ε : Número de Prandtl asociado a ε

Q: caudal volumétrico

q_m : caudal másico